

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2001年3月29日 (29.03.2001)

PCT

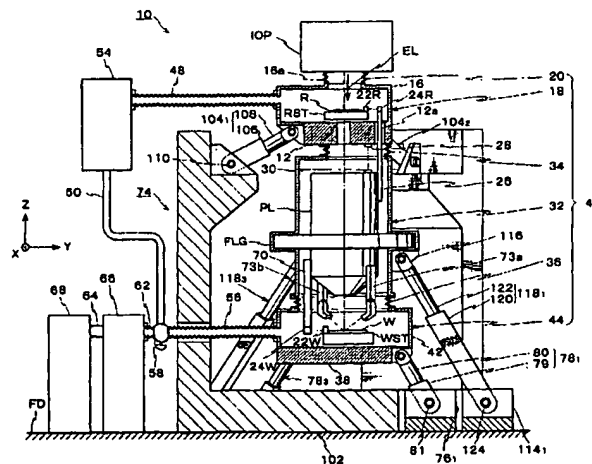
(10) 国際公開番号  
WO 01/22480 A1

- (51) 国際特許分類: H01L 21/027, G03F 7/22 (74) 代理人: 立石篤司(TATEISHI, Atsuji); 〒194-0013 東京都町田市原町田5丁目4番20号 パセオビル5階 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP99/05102
- (22) 国際出願日: 1999年9月20日 (20.09.1999) (81) 指定国 (国内): AE, AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CR, CU, CZ, DM, EE, GD, GE, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, TR, TT, TZ, UA, US, UZ, VN, YU, ZA.
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および (84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 田中慶一 (TANAKA, Keiichi) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo (JP).
- 添付公開書類:  
— 国際調査報告書

[続葉有]

(54) Title: PARALLEL LINK MECHANISM, EXPOSURE SYSTEM AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND METHOD OF MANUFACTURING DEVICES

(54) 発明の名称: パラレルリンク機構、露光装置及びその製造方法、並びにデバイス製造方法



(57) Abstract: A parallel link mechanism comprising at least three expansible and contractible rods supporting, independently of other portions and attitude controllably, a reticule surface plate (12) supporting a reticule stage (RST) retaining a reticule (R) thereon and a wafer surface plate (38) supporting a wafer stage (WST) retaining a wafer (W) thereon, whereby it becomes possible to reduce the weight of a portion, which is supported on the parallel link mechanism, by utilizing the advantages of the parallel link mechanism, carry out an attitude control operation with excellent performance characteristics, a high rigidity and a high accuracy, and reliably prevent the transmission of vibrations between the reticule surface plate (12) and wafer surface plate (38) and other portions, for example, a projection optical system (PL), this enabling a fine pattern formed on the reticule (R) to be transferred to an upper surface of the wafer (W) with a high accuracy.

[続葉有]



2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

---

(57) 要約:

レチクル (R) を保持するレチクルステージ (R S T) を支持するレチクルベース定盤 (1 2)、ウエハ (W) を保持するウエハステージ (W S T) を支持するウエハベース定盤 (3 8) 等が、伸縮可能な少なくとも各3本のロッドを有する平行リンク機構により、他の部分と独立して姿勢制御可能に支持されている。このため、平行リンク機構により支持された部分を、平行リンク機構の利点を利用して、軽量化することができ、かつ動作特性良く、高い剛性で、精度良く姿勢制御を行うことが可能になる。また、レチクルベース定盤 (1 2)、ウエハベース定盤 (3 8) と他の部分、例えば投影光学系 (P L) との間の振動の伝達等を確実に防止することができる。従って、レチクル (R) に形成された微細パターンを、ウエハ (W) 上に精度良く転写できる。

## 明 細 書

### パラレルリンク機構、露光装置及びその製造方法、並びにデバイス製造方法

#### 技術分野

本発明は、パラレルリンク機構、露光装置及びその製造方法、並びにデバイス製造方法に係り、更に詳しくは少なくとも3本の伸縮可能なロッドを用いて可動体の位置、姿勢制御を行う機構の一種であるパラレルリンク機構、該パラレルリンク機構をマスク及び基板の少なくとも一方の姿勢制御のために利用した露光装置及びその製造方法、前記露光装置を用いてマイクロデバイス（電子デバイス）を製造するデバイス製造方法に関する。

#### 背景技術

従来より、半導体素子、液晶表示素子等を製造するリソグラフィ工程では、種々の露光装置が用いられている。近年においては、マスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）に形成されたパターンをウエハ又はガラスプレート等の基板（以下、「ウエハ」と総称する）上の複数のショット領域に投影光学系を介して逐次転写するステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（ステッパ）や、当該縮小投影露光装置を改良したステップ・アンド・スキャン方式の走査型投影露光装置（スキャニング・ステッパ）等の逐次移動型の投影露光装置（以下、必要に応じて「ステッパ」と総称する）が主として用いられている。

このステッパの性能を左右する基本要因のうち、重要なものは投影光学系（投影レンズ）の解像力（解像度）と焦点深度である。すなわち、解像度はウエハに投影結像できる最小パターン寸法、すなわち実用最小線幅（デバイスルー

ル)を決定するからであり、また、プロセスを経たウエハには酸化物、金属などの薄膜形成、そのエッチングによる段差がある他、ウエハの変形があるため焦点深度をなるべく広くとることが露光装置として重要だからである。

投影レンズの解像度  $R$  と焦点深度  $DOF$  は一般的な目安として次の 2 式で表される。

$$R = k_1 \cdot \lambda / N.A. \quad \dots\dots (1)$$

$$DOF = k_2 \cdot \lambda / (N.A.)^2 \quad \dots\dots (2)$$

ここで、 $\lambda$  は露光に使用する光の波長、 $N.A.$  は投影光学系の開口数、 $k_1$ 、 $k_2$  はレジストなどから決まるパラメータである。

初期のステッパでは、露光用照明光として超高圧水銀ランプの  $g$  線 ( $\lambda = 436 \text{ nm}$ ) を用い、 $N.A.$  が 0.3 程度で、解像度は  $1.2 \mu\text{m}$  程度であった。上記の式 (1) から明らかなように、 $N.A.$  を大きくすると解像度は向上するが、あまりに  $N.A.$  を大きくすると式 (2) からわかるように有効な焦点深度がとれなくなる。

そこで、16 Mbit DRAM の生産対応装置からは  $i$  線 ( $\lambda = 365 \text{ nm}$ ) を採用し、 $N.A.$  0.5 程度の投影光学系を使用して高解像度を得るとともに、実用上の焦点深度も同時に得られるようになっていた。 $i$  線は  $g$  線と同様に超高圧水銀ランプから得られ、半導体工場内でそれまでのステッパ同様に使用できるという長所もあったことから、 $i$  線ステッパは比較的スムーズ (円滑) に生産装置として導入された。

その後、デバイスルールが  $0.3 \mu\text{m}$  以下となる 64 Mbit DRAM の第 3 世代から 256 Mbit DRAM の時代には、それまでの水銀ランプを光源とするのではなく、KrF エキシマレーザの使用が検討され、また現行装置の改良により対応が可能な位相シフトレチクルや変形照明の適用も提案された。

KrF エキシマレーザ ( $\lambda = 248 \text{ nm}$ ) ステッパはそれまでの  $g$  線や  $i$  線用ステッパと基本ボディは共通であるが、光源から投影光学系までの光学系が



異なる。すなわち、短波長の光を使うため、使用できる光学材料も石英やホタル石等に限られてしまう。また、エキシマレーザ光は水銀ランプとは異なり、パルス発光光でかつコヒーレントであるため、照明系にも独自技術が必要である。

エキシマレーザ光のコヒーレンシーによって生じる干渉縞は露光パターンの線幅精度に影響を与えるため、照明光学系の中に振動ミラーを設けて光束（ビーム）を微少に変動させてその干渉縞の悪影響を抑制している。ランプ光源のステッパではシャッタの開閉時間で積算露光量を制御できるが、パルス発光のレーザ光源ステッパではエネルギーバラツキを補正するため、1回の露光当たりのパルス数があるパルス数（最小露光パルス数と呼ばれる）以上にする必要がある。

将来の1 G b i t D R A Mのデバイスルール0.2  $\mu$  m以下の時代に向けては、A r Fエキシマレーザ（ $\lambda = 193$  nm）の使用や、位相シフトレチクルや変形照明技術の組合わせが提案されている。A r Fエキシマレーザステッパでは露光光が酸素により吸収されるために露光光が通る光路に窒素などを充填する必要が生じる。

更なる高解像度、高焦点深度を得るには、投影光学系のN. A. をそのままにして、短波長な光源を使用する方法がある。最近、A r Fエキシマレーザよりも短波長なF<sub>2</sub>（ $\lambda = 157$  nm）レーザを光源とする縮小投影リソグラフィがMIT Lincoln Lab. より発表され、注目されている。F<sub>2</sub>レーザ光は、A r Fエキシマレーザ光同様、酸素による吸収があるため、露光はN<sub>2</sub> もしくはH<sub>2</sub> 雰囲気中で行う必要がある。

また、このような短波長な光源を使用した露光装置の露光精度を向上するためには、従来よりも投影光学系に対するレチクルステージ、ウエハステージの位置決め精度を向上する必要があり、可動体であるステージの駆動に伴う反力による装置の振動を極力制振し、床振動を絶縁する必要がある。

従って、 $F_2$  レーザのような短波長光源を用いてより高精度な露光を実現するためには、従来装置よりも精度の高い位置決め制御、制振制御、振動絶縁が要求される。

例えば、レチクルを搭載したレチクルステージと、ウエハを搭載したウエハステージとを一次元方向に同期移動してレチクルパターンをウエハに転写する走査露光動作と、ウエハステージのショット間ステッピング動作とを繰り返して、ステップ・アンド・スキャン方式でレチクルパターンをウエハ上の複数ショット領域に順次転写するスキヤニング・ステッパにおいて要求される要件として、①各ステージの駆動反力が投影光学系を支持するフレームに伝達しないこと、②ステージ群と投影光学系との相対位置及び姿勢の調整が容易であること、③各ステージを軽量化することで駆動力とその駆動反力を低減すること、④床振動をステージ群や投影光学系に伝達しない構造をとること、⑤ステージ群及び投影光学系が容易に分離可能な構造とすることが挙げられる。①～④は、微細パターンの高精度な露光を実現するために要求されるものであり、⑤は、メンテナンス性を向上して装置のダウンタイムを低減し、結果的にマイクロデバイスの生産性を向上するために要求されるものである。

この他、高スループット化のため、定盤上に2つのウエハステージを搭載し、1つのウエハステージが露光中はもう1つのウエハステージがアライメント等を行い、これらの動作を連続して交互に行うダブルウエハステージ構想がある。また、パターンの異なる2枚のレチクルをそれぞれ搭載した2つのレチクルステージを用いて、それらのパターンを順次転写する2重露光法等の多重露光法も解像度及び焦点深度の向上が可能であり、半導体素子の高集積化には有効である。但し、これらのダブルウエハステージ構想や、多重露光法により所期の効果を達成するためには、上記①～④の要件を満足することが前提となり、更に上記⑤の要件を満足することが望ましい。

更に、 $F_2$  レーザ光以下の短波長の光を用いて露光を行う場合、⑥ステージ

群及び投影光学系等は、 $N_2$  あるいはHe雰囲気にするためにチャンバで密閉することが必須となる。

上述した①～⑥の要件は、ステップ・アンド・リピート方式のステッパであっても満足することが望ましいことは勿論である。

上記①～⑥の要件の内、③の要件は、ステージの駆動源として、平面モータや円筒型リニアモータを採用することにより十分満足させることは可能である。特に、平面モータをウエハステージの駆動源として採用する場合には、平面モータは、可動体のX、Y、 $\theta_z$ の3自由度方向の駆動を1つのモータで実現できるため、従来不可欠であったXY2次元配置のXガイド、Yガイドが不要になるとともに、X軸方向及びY軸方向の所定の一方の軸方向にウエハを保持するステージを駆動する際には、他方の軸方向駆動用のモータ及びガイドをそのステージとともに駆動する必要がなくなるので、可動部重量を大幅に軽減できる。このため、将来の露光装置におけるウエハステージの駆動源として非常に有力な駆動源として注目されている。

しかしながら、平面モータをステージの駆動源として採用しても、残りの①、②、④、⑤、⑥の要件を、同時に満足させることは非常に困難である。

一方、可動部の並進や回転の6自由度の運動を得るための手段として、ベース部とエンドエフェクタとが2つ以上の対偶（ジョイント）をもつ複数のリンク連鎖で結合された機構であるパラレルメカニズム（パラレルリンク機構とも呼ばれる）の一種である、スチュワートプラットフォームと呼ばれる機構が、飛行操縦の訓練や模擬に利用されており、産業ロボットの分野で注目されている。

本発明は、かかる事情の下になされたもので、その第1の目的は、小型・軽量化と出力の向上とを同時に実現できるパラレルリンク機構を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、微細パターンを、基板上に精度良く転写する

ことができる露光装置及びその製造方法を提供することにある。

また、本発明の第3の目的は、高集積度のマイクロデバイスを生産性良く製造することができるデバイス製造方法を提供することにある。

#### 発明の開示

前述のような背景の下、本願発明者は、ステージ駆動源として平面モータを採用した場合は勿論、採用しない場合であっても、前述した①～⑥の要件の内、より多くの要件を同時に満足させる露光装置実現すべく、鋭意研究を重ねた結果、従来の露光装置で採用されていたボディ（本体コラム）をなくし、レチクルステージ、ウエハステージ、等を独立に支持し、かつ自在に6自由度方向の位置、姿勢の制御を実現できれば良いとの結論を得た。かかる結論のもと、更に検討を重ねた結果、前述したパラレルメカニズムを露光装置に適用することを思い付いた。

そこで、パラレルメカニズム（以下、「パラレルリンク機構」という）について、詳細な調査研究を行ったところ、可動部が軽量で動作特性が良い、剛性が高い、位置決め精度が良いなど、発明者が意図している要件をかなりの部分において満足しているものの、代表的なパラレルメカニズムであるスチュワートプラットフォームでは能動対偶に油圧シリンダが用いられており、改善すべき点もあることがわかった。

本発明は、第1の観点からすると、可動体の少なくとも3自由度方向の位置・姿勢を制御するパラレルリンク機構であって、ベース部材と；前記ベース部材と前記可動体とを連結するとともに、それぞれの軸方向に相対移動可能な第1軸部材と第2軸部材とを有する、少なくとも3本の伸縮可能なロッドと；前記各ロッドに設けられ、前記第1軸部材と前記第2軸部材とを前記軸方向に相対駆動して前記各ロッドを伸縮させる伸縮機構とを備え、前記伸縮機構が、前記第1及び第2軸部材の一方に一体的に設けられた円筒状の可動子と、前記第

1 及び第 2 軸部材の他方に一体的に設けられた円柱状の固定子とを有し、前記可動子と前記固定子との間の電磁氣的相互作用により発生する駆動力により前記第 1 軸部材と前記第 2 軸部材とを前記軸方向に相対駆動するシャフトモータを含むことを特徴とするパラレルリンク機構である。

シャフトモータは、可動子側又は固定子側に円柱状あるいは円筒状の磁石を用いることができるので、その磁石の放射方向の全方向に磁束（磁界）が発生し、その全方向の磁束を、電磁相互作用、又は磁気相互作用による駆動力の発生に寄与させることができる。これにより、可動子と固定子との間に発生する所定方向の磁界しか駆動力の発生に寄与させることができない通常のリニアモータ等に比較して明らかに大きな推力を発生させることができるとともに、油圧シリンダ等比べて小型化が容易である。この場合、固定子は、中空円柱、中実円柱のいずれでも良い。

従って、各ロッドに設けられた伸縮機構が、第 1 及び第 2 軸部材の一方に一体的に設けられた円筒状の可動子と、第 1 及び第 2 軸部材の他方に一体的に設けられた円柱状の固定子とから成り、可動子と固定子との間の電磁相互作用により発生する駆動力により第 1 軸部材と第 2 軸部材とを軸方向に相対駆動するシャフトモータを含む本発明に係るパラレルリンク機構によれば、小型・軽量化と出力の向上とを同時に実現できる。本発明に係るパラレルリンク機構は、露光装置に好適に適用することができる。

本発明に係るパラレルリンク機構では、前記伸縮機構は、前記シャフトモータに並列あるいは直列に配置されたエアシリンダを更に含むことができる。かかる場合には、エアシリンダの空圧制御により可動体を粗く大きく駆動するとともに、シャフトモータにより細かく微動させる、粗微動構造を実現することができる。また、この場合、エアシリンダを可動体の位置・姿勢の制御のための各ロッドの伸縮に用い、シャフトモータを振動の制振に用いることや、エアシリンダを低周波の振動の制振に用い、シャフトモータを高周波振動の絶縁に

用いることも可能である。

本発明は、第2の観点からすると、所定のパターンを基板上に転写する露光装置であって、前記パターンの転写を行う露光本体部と；前記露光本体部の少なくとも一部を姿勢制御可能に支持する平行リンク機構とを備える露光装置である。

これによれば、基板上にパターンの転写を行う露光本体部の一部が、平行リンク機構により姿勢制御可能に支持されていることから、平行リンク機構により支持された露光本体部の一部を、平行リンク機構の利点を利用して、軽量化することができ、かつ動作特性良く、高い剛性で、精度良く姿勢制御を行うことが可能になる。また、その露光本体部の一部を、他の部分と独立して平行リンク機構により支持することができるので、その一部と他の部分との間の振動の伝達等を確実に防止することができる。特に、露光本体部を構成する基板ステージ等の可動部を平行リンク機構により支持した場合には、その可動部の駆動により他の部分に与える振動等の影響を軽減することができる。従って、本発明によれば、露光本体部により微細パターンを、基板上に精度良く転写することが可能になる。

本発明に係る露光装置では、前記露光本体部は、前記基板を保持する基板ステージを有し、前記平行リンク機構は、前記基板ステージの少なくとも3自由度方向の位置・姿勢を制御することとすることができる。かかる場合には、平行リンク機構により、基板ステージの少なくとも3自由度方向の位置・姿勢が制御されるので、平行リンク機構により駆動される基板ステージの軽量化が可能であり、その基板ステージの少なくとも3自由度方向の位置・姿勢の制御を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。

この場合において、前記平行リンク機構は、第1のベース部材と、該第1のベース部材と前記基板ステージとを連結する少なくとも3本の伸縮可能な第1のロッドと、前記各第1のロッドに設けられ当該各第1のロッドを伸縮さ

せる第1の伸縮機構とを有することとすることができる。かかる場合には、各第1のロッドに設けられた第1の伸縮機構により各ロッドを伸縮させることにより、基板ステージの少なくとも3自由度方向（例えばX、Y、 $\theta_z$ 方向）の位置・姿勢制御を、動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。この場合、基板ステージを平行リンク機構により駆動するので、基板ステージを駆動するリニアモータ等の駆動装置や基板ステージを支持するステージベース等が不要となる。但し、基板の6自由度方向の位置・姿勢制御を行うには、基板ステージ上に基板を残りの3自由度方向（例えば、Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）に駆動する機構（例えばZ・チルト駆動機構）等を設ける必要がある。

この場合において、前記平行リンク機構は、前記第1のロッドを6本有し、前記各第1のロッドの伸縮により前記基板ステージの6自由度方向の位置・姿勢を制御することとすることが望ましい。かかる場合には、平行リンク機構の6本の第1のロッドの独立した伸縮により基板ステージの6自由度方向の位置・姿勢を制御することができるので、上記のZ・チルト駆動機構等が不要になり、その分可動部である基板ステージを軽量化することができる。

本発明に係る露光装置では、前記第1の伸縮機構は、相互に並列又は直列に配置されたエアシリンダと電磁力リニアモータとを有することとすることができる。かかる場合には、エアシリンダの空圧制御により基板ステージを粗く大きく駆動するとともに、電磁力リニアモータにより細かく微動させることができ、短時間で正確な基板ステージの少なくとも3自由度方向の位置・姿勢の制御が可能になる。

本発明に係る露光装置では、前記露光本体部は、少なくとも3本の第1のロッドにより少なくとも3自由度方向の位置・姿勢が制御される基板ステージに加え、前記パターンを前記基板上に投影する投影光学系を更に有することとすることができる。かかる場合には、第1のロッドをそれぞれの伸縮機構により独立して伸縮させ、基板ステージの少なくとも3自由度方向の位置・姿勢を制

御することにより、投影光学系と基板ステージとの少なくとも3自由度方向の相対位置の調整を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことが可能になる。

この場合において、前記露光本体部は、前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステージを更に有し、前記平行リンク機構は、前記マスクステージの少なくとも3自由度方向の相対位置を制御することとすることができる。かかる場合には、平行リンク機構により、マスクステージの少なくとも3自由度方向の位置・姿勢が制御されるので、平行リンク機構により駆動されるマスクステージの軽量化が可能であり、そのマスクステージの少なくとも3自由度方向の位置・姿勢の制御を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができ、また、それによりマスクステージと投影光学系との少なくとも3自由度方向（例えば、 $X$ 、 $Y$ 、 $\theta_z$ 方向、あるいは $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）の相対位置の調整が可能になる。

この場合において、前記平行リンク機構は、第2のベース部材と、該第2のベース部材と前記マスクステージとを連結する少なくとも3本の伸縮可能な第2のロッドと、前記各第2のロッドに設けられ当該各第2のロッドを伸縮させる第2の伸縮機構とを有することとすることができる。かかる場合には、各第2のロッドに設けられた第2の伸縮機構により各第2のロッドを伸縮させることにより、マスクステージの少なくとも3自由度方向（例えば $X$ 、 $Y$ 、 $\theta_z$ 方向）の位置・姿勢制御、及びマスクステージと投影光学系との少なくとも3自由度方向（例えば、 $X$ 、 $Y$ 、 $\theta_z$ 方向、あるいは $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）の相対位置関係の調整を、動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。この場合、マスクステージを平行リンク機構により駆動するので、マスクステージを駆動するリニアモータ等の駆動装置やマスクステージを支持するステージベース等が不要となる。但し、マスクの6自由度方向の位置・姿勢制御を行うには、マスクステージ上にマスクを残りの3自由度方向（例えば、



Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向、あるいはX、Y、 $\theta_z$ 方向)に駆動する機構(例えばZ・チルト駆動機構、あるいは平面モータ)等を設ける必要がある。

この場合において、前記平行リンク機構は、前記第2のロッドを6本有し、前記各第2のロッドの伸縮により前記マスクステージの6自由度方向の位置・姿勢を制御することが望ましい。かかる場合には、平行リンク機構の6本の第2のロッドの独立した伸縮によりマスクステージの6自由度方向の位置・姿勢を制御することができるので、上記のZ・チルト駆動機構、平面モータ等が不要になり、その分可動部であるマスクステージを軽量化することができる。

本発明に係る露光装置では、平行リンク機構が、基板ステージの位置・姿勢の制御のため第1の伸縮機構により伸縮される第1のロッド、及びマスクステージの位置・姿勢の制御のため第2の伸縮機構により伸縮される第2のロッドをそれぞれ少なくとも3本有する場合に、前記第1、第2の伸縮機構の少なくとも一方は、相互に並列又は直列に配置されたエアシリンダと電磁力ニアモータとを有することとすることができる。かかる場合には、エアシリンダの空圧制御により基板ステージ及びマスクステージの少なくとも一方を粗く大きく駆動するとともに、電磁力ニアモータにより細かく微動させることができ、基板ステージ及びマスクステージの少なくとも一方の少なくとも3自由度方向の位置・姿勢の制御、及び少なくとも一方のステージと投影光学系との相対位置の調整を短時間に正確に行うことが可能になる。

この場合において、前記第1、第2のロッドの少なくとも一方は、前記電磁力ニアモータの可動子を固定子に対して非接触で支持する軸受け装置を更に有していることが望ましい。かかる場合には、その軸受け装置が設けられたロッドの伸縮を伸縮機構を用いて制御する際の非線形成分となる摩擦を回避することができるので、一層高精度な基板ステージ及びマスクステージの少なくとも一方の3自由度方向の位置・姿勢の制御が可能になる。

この場合において、前記軸受け装置は、気体静圧軸受け装置であっても良く、磁気軸受け装置であっても勿論良い。

前記軸受け装置として気体静圧軸受け装置を用いる場合は、気体静圧軸受け装置に供給される気体が露光装置内雰囲気気体の純度を汚染することがないように、気体静圧軸受け装置周囲に差動排気機構を設けることが望ましい。

本発明に係る露光装置では、前記エアシリンダを用いて前記両ステージの少なくとも一方と前記投影光学系との相対位置の調整を静的に行うとともに、前記電磁力リニアモータを用いて振動の制振を行う制御装置を更に備えていても良い。かかる場合には、両ステージの少なくとも一方と投影光学系との相対位置の調整に加え、各ロッドの伸縮駆動に伴って生じる振動を制振することが可能になる。

本発明に係る露光装置では、前記電磁力リニアモータの電流制御により高周波振動を絶縁する制御装置を更に備えていても良い。かかる場合には、高周波振動である床面からの微振動を絶縁することができる。

本発明に係る露光装置では、前記投影光学系を、前記露光本体部が設置される床面上で固定支持する支持機構を更に備えていても良い。かかる場合には、マスクステージ及び基板ステージが少なくとも3自由度方向で位置・姿勢を制御可能なので、投影光学系を所望の位置に所望の姿勢となるように初期調整を行い、その調整後に支持機構により固定支持させることにより、各ステージと投影光学系との少なくとも3自由度方向の相対位置関係を調整できる。

本発明に係る露光装置では、パラレルリンク機構が、第1及び第2のベース部材と、第1の伸縮機構により伸縮される少なくとも3本の第1のロッドと、第2の伸縮機構により伸縮される少なくとも3本の第2のロッドとを有する場合に、前記パラレルリンク機構は、第3のベース部材と、該第3のベース部材と前記投影光学系とを連結する少なくとも3本の伸縮可能な第3のロッドと、前記各第3のロッドに設けられ当該各第3のロッドを伸縮させる第3の伸縮機

構とを更に有していても良い。かかる場合には、上記の投影光学系の初期調整に際して、各第3のロッドに設けられた伸縮機構を独立に制御することにより、簡単に初期調整ができ、その初期調整の完了後は、各第3の伸縮機構により各第3のロッドの長さを維持すれば、投影光学系を所望の位置に所望の姿勢となるように固定した状態で支持することができ、その後は各ステージ側の位置・姿勢を制御することにより、各ステージと投影光学系との少なくとも3自由度方向の相対位置を調整するようにすれば良い。

この場合において、前記第3の伸縮機構は、エアシリンダを有していても良い。かかる場合には、上記の投影光学系の初期位置、姿勢の調整をエアシリンダの内部圧力の調整により容易に行うことができる。

本発明に係る露光装置では、第1、第2、及び第3のベース部材はそれぞれ別部材であっても勿論良いが、前記第1、第2及び第3のベース部材の内、任意の少なくとも2つは、同一部材であっても良い。すなわち、第1、第2及び第3のベース部材の全てが同一部材であっても良く、第1、第2のベース部材、第2、第3のベース部材、あるいは第1、第3のベース部材が同一部材であっても良い。

本発明に係る露光装置では、前記露光本体部は、前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステージを有し、前記平行リンク機構は、前記マスクステージの3自由度方向の相対位置を制御することとすることができる。かかる場合には、平行リンク機構により、マスクステージの少なくとも3自由度方向の位置・姿勢が制御されるので、平行リンク機構により駆動されるマスクステージの軽量化が可能であり、そのマスクステージの少なくとも3自由度方向（例えば、 $X$ 、 $Y$ 、 $\theta_z$ 方向、あるいは $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）の位置・姿勢の制御を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。ここで、露光本体部が投影光学系を有している場合には、マスクステージと投影光学系との少なくとも3自由度方向の相対位置の調整が可能になる。

この場合において、前記パラレルリンク機構は、ベース部材と、該ベース部材と前記マスクステージとを連結する少なくとも3本の伸縮可能なロッドと、前記各ロッドに設けられ当該各ロッドを伸縮させる伸縮機構とを有することとすることができる。かかる場合には、各ロッドに設けられた伸縮機構により各ロッドを伸縮させることにより、マスクステージの少なくとも3自由度方向（例えばX、Y、 $\theta_z$ 方向）の位置・姿勢制御を、動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。この場合、マスクステージをパラレルリンク機構により駆動するので、マスクステージを駆動するリニアモータ等の駆動装置やマスクステージを支持するステージベース等が不要となる。但し、マスクの6自由度方向の位置・姿勢制御を行うには、マスクステージ上にマスクを残りの3自由度方向（例えば、Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）に駆動する機構（例えばZ・チルト駆動機構）等を設ける必要がある。

この場合において、前記パラレルリンク機構は、前記ロッドを6本有し、前記各ロッドの伸縮により前記マスクステージの6自由度方向の位置・姿勢を制御することが望ましい。かかる場合には、パラレルリンク機構の6本のロッドの独立した伸縮によりマスクステージの6自由度方向の位置・姿勢を制御することができるので、上記のZ・チルト駆動機構等が不要になり、その分可動部であるマスクステージを軽量化することができる。

本発明に係る露光装置では、前記露光本体部は、前記基板を保持する基板ステージと、前記基板ステージを移動可能に支持する第1のステージベースとを有し、前記パラレルリンク機構は、前記第1のステージベースの3自由度方向の相対位置を制御することとすることができる。かかる場合には、パラレルリンク機構により、第1のステージベースの3自由度方向の相対位置を制御することにより、第1のステージベースに支持された基板ステージの3自由度方向（例えば、Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）の相対位置の制御が可能となる。すなわち、基板ステージ上にZ・チルト駆動機構を設けることなく、基板のZ・チルト駆

動が可能となり、基板ステージの軽量化が可能となる。また、この場合、基板ステージを例えば平面モータ等により第1のステージベース上で駆動する際の駆動力と駆動反力を低減することができる。

この場合において、前記パラレルリンク機構は、第1のベース部材と、該第1のベース部材と前記第1のステージベースとを連結する少なくとも3本の伸縮可能な第1のロッドと、前記各第1のロッドに設けられ当該各第1のロッドを伸縮させる第1の伸縮機構とを有することとすることができる。かかる場合には、各第1のロッドに設けられた第1の伸縮機構により各第1のロッドを独立して伸縮させることにより、第1のステージベースの少なくとも3自由度方向（例えば、 $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）の位置・姿勢を制御することにより、結果的に基板ステージの3自由度方向の位置・姿勢の調整を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。

この場合において、前記第1の伸縮機構は、相互に並列又は直列に配置されたエアシリンダと電磁カリニアモータとを有していても良い。かかる場合には、エアシリンダの空圧制御により第1のステージベースを粗く大きく駆動するとともに、電磁カリニアモータにより細かく微動させることができ、結果的に短時間で正確な基板ステージの3自由度方向（例えば $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）の位置・姿勢の制御が可能になる。

本発明に係る露光装置では、パラレルリンク機構が、第1のベース部材と、該第1のベース部材と第1のステージベースとを連結する少なくとも3本の伸縮可能な第1のロッドと、各第1のロッドに設けられ当該各第1のロッドを伸縮させる第1の伸縮機構とを有する場合に、前記露光本体部は、前記第1のステージベースとは独立して支持され、前記パターンを前記基板上に投影する投影光学系を更に有していても良い。

かかる場合には、前述の如く、それぞれの第1の伸縮機構により各第1のロッドを独立して伸縮させることにより、第1のステージベースを介して基板ス

ステージの少なくとも 3 自由度方向の位置・姿勢の調整を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができるので、結果的に投影光学系と基板との少なくとも 3 自由度方向（例えば、 $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  方向）相対位置の調整、すなわちフォーカス・レベリング制御動作を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。基板ステージを軽量化することで、例えばリニアモータ等により第 1 のステージベース上で駆動する際の駆動力と駆動反力を低減することができるとともに、投影光学系は第 1 のステージベースとは独立して支持されているので、基板ステージの駆動反力が投影光学系に伝達するのを防止することができる。また、基板ステージと投影光学系の分離も容易である。

この場合において、前記投影光学系に固定され、前記基板と前記投影光学系との 6 自由度方向の相対位置関係を検出する位置検出装置を更に備えていても良い。かかる場合には、前述の如く、基板ステージの駆動反力が投影光学系に伝達されるのが防止されているので、該投影光学系に固定された位置検出装置により、基板と投影光学系との 6 自由度方向の相対位置関係を精度良く検出することが可能になる。

本発明に係る露光装置では、露光本体部が、基板ステージ及びこれを支持する第 1 のステージベース、並びに投影光学系を有する場合に、前記投影光学系を、前記露光本体部が設置される床面上で固定支持する支持機構を更に備えていても良い。かかる場合には、基板ステージが 3 自由度方向で位置・姿勢を制御可能なので、投影光学系を所望の位置に所望の姿勢となるように初期調整を行い、その初期調整後に支持機構により固定支持させることにより、基板と投影光学系との 3 自由度方向の相対位置関係を調整できる。

本発明に係る露光装置では、露光本体部は、基板ステージ及びこれを支持する第 1 のステージベース、並びに投影光学系に加え、前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステージと、前記マスクステージを移動可能に支持する第 2 のステージベースとを更に有し、前記平行リンク機構は、前記第

2のステージベースの3自由度方向の位置・姿勢をも制御することとしても良い。かかる場合には、基板ステージの駆動反力が投影光学系に伝達するのを防止することができることに加え、パラレルリンク機構が第2のステージベースの3自由度方向の位置・姿勢を制御することにより、結果的にマスクと投影光学系との3自由度方向（例えば、 $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）の相対位置及び姿勢の調整を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。すなわち、マスクステージと第2のステージベースとの間、あるいはマスクステージ上に $Z$ ・チルト駆動機構を設けることなく、パラレルリンク機構によりマスクステージのフォーカス・レベリング動作を行うことが可能になり、マスクのデフォーカスに起因するパターン像の劣化を防止することが可能となる。特に投影光学系の物体面側が非テレセントリックである場合には、マスクのデフォーカスに起因するパターン像の転写位置ずれ等を併せて防止することができる。マスクステージを軽量化することで、例えばリニアモータ等により第2のステージベース上で駆動する際の駆動力と駆動反力を低減することができるとともに、その反力が投影光学系に伝達しないようにすることができる。また、マスクステージと投影光学系の分離も容易である。

本発明に係る露光装置では、パラレルリンク機構が、第2のステージベースの3自由度方向の位置・姿勢を制御することにより、マスクステージと投影光学系との3自由度方向の相対位置を制御する場合に、前記投影光学系に固定され、前記マスクステージと前記投影光学系との6自由度方向の相対位置関係を検出する位置検出装置を更に備えていても良い。かかる場合には、前述の如く、基板ステージ及びマスクステージの駆動反力が投影光学系に伝達されるのが防止されているので、該投影光学系に固定された位置検出装置により、マスクステージと投影光学系との6自由度方向の相対位置関係を精度良く検出することが可能になる。

この場合において、前記位置検出装置は、干渉計であり、前記干渉計からの

測長ビームが照射される $X$ 、 $Y$ 、 $\theta_z$ 方向の相対位置検出用のミラーは、前記マスクステージに設けられ、前記干渉計からの測長ビームが照射される $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向の相対位置検出用のミラーは、前記第2のステージベースに固定されていても良い。

本発明に係る露光装置では、パラレルリンク機構が第2のステージベースの3自由度方向の位置・姿勢をも制御する場合に、パラレルリンク機構は、第2のベース部材と、該第2のベース部材と前記第2のステージベースとを連結する少なくとも3本の伸縮可能な第2のロッドと、前記各第2のロッドに設けられ当該各第2のロッドを伸縮させる第2の伸縮機構とを有することとすることができる。かかる場合には、前述の如く、基板と投影光学系との相対位置の調整を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができ、基板ステージの駆動反力が投影光学系に伝達するのを防止することができることに加え、各第2のロッドに設けられた第2の伸縮機構により各第2のロッドを独立して伸縮させることにより、第2のステージベースの少なくとも3自由度方向の位置・姿勢を制御することにより、結果的にマスクと投影光学系との少なくとも3自由度方向（例えば、 $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）の相対位置の調整を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。また、基板ステージのみならず、マスクステージをも軽量化することで、各ステージの駆動力とその駆動反力を低減することができ、基板ステージ、マスクステージ及び投影光学系が容易に分離可能な構造とすることができる。

この場合において、前記パラレルリンク機構は、第3のベース部材と、該第3のベース部材と前記投影光学系とを連結する少なくとも3本の伸縮可能な第3のロッドと、前記各第3のロッドに設けられ当該各第3のロッドを伸縮させる第3の伸縮機構とを更に有することとすることができる。かかる場合には、前述した投影光学系の初期調整に際して、各第3のロッドに設けられた伸縮機構を独立に制御することにより、簡単に初期調整ができ、その初期調整の完了



後は、各第3の伸縮機構により各第3のロッドの長さを維持すれば、投影光学系を所望の位置に所望の姿勢となるように固定した状態で支持することができ、その後は各ステージ側の位置・姿勢を制御することにより、各ステージと投影光学系との少なくとも3自由度方向の相対位置を調整するようにすれば良い。

この場合において、前記第3の伸縮機構は、エアシリンダを有していても良い。かかる場合には、上記の投影光学系の初期位置、姿勢の調整をエアシリンダの内部圧力の調整により容易に行うことができる。

本発明に係る露光装置では、第1のロッド、第2のロッド、及び第3のロッドをそれぞれ介して第1のステージベース、第2のステージベース、及び投影光学系にそれぞれ接続される第1、第2、及び第3のベース部材はそれぞれ別部材であっても勿論良いが、前記第1、第2及び第3のベース部材の内、任意の少なくとも2つは、同一部材であっても良い。すなわち、第1、第2及び第3のベース部材の全てが同一部材であっても良く、第1、第2のベース部材、第2、第3のベース部材、あるいは第1、第3のベース部材が同一部材であっても良い。

本発明に係る露光装置では、第1、第2のステージベースと第1、第2のベース部材とをそれぞれ連結する第1、第2のロッドにそれぞれ設けられる前記第1、第2の伸縮機構の少なくとも一方は、相互に並列又は直列に配置されたエアシリンダと電磁カリニアモータとを有していても良い。かかる場合には、エアシリンダの空圧制御により第1のステージベース及び第2のステージベースの少なくとも一方を粗く大きく駆動するとともに、電磁カリニアモータにより細かく微動させることができ、結果的に短時間で正確な基板ステージ及びマスクステージの少なくとも一方の3自由度方向の位置・姿勢の制御、ひいてはマスク及び基板の少なくとも一方の投影光学系に対する3自由度方向（例えば $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）の相対位置の調整、すなわちフォーカス・レベリング動

作を短時間で正確に行うことが可能になる。

この場合において、前記第1、第2のロッドの少なくとも一方は、前記電磁カリニアモータの可動子を固定子に対して非接触で支持する軸受け装置を更に有していることが望ましい。かかる場合には、その軸受け装置が設けられたロッドの伸縮を制御する際の非線形成分となる摩擦を回避することができるので、第1、第2のステージベースの少なくとも一方を介して基板ステージ及びマスキングステージの少なくとも一方の3自由度方向の位置・姿勢の制御を一層高精度に行うことが可能になる。

この場合において、前記軸受け装置は、気体静圧軸受け装置であっても良く、磁気軸受け装置であっても勿論良い。

前記軸受け装置として気体静圧軸受け装置を用いる場合は、気体静圧軸受け装置に供給される気体が露光装置内雰囲気中の気体純度を汚染することがないように、気体静圧軸受け周囲に差動排気機構を設けることが望ましい。

本発明に係る露光装置では、前記エアシリンダを用いて前記第1、第2のステージベースの少なくとも一方と前記投影光学系との相対位置の調整を静的に行うとともに、前記電磁カリニアモータを用いて振動の制振を行う制御装置を更に備えていても良い。かかる場合には、第1、第2のステージベースの少なくとも一方を介しての両ステージの少なくとも一方と投影光学系との相対位置の調整に加え、各ロッドの伸縮駆動に伴って生じる振動を制振することが可能になる。

本発明に係る露光装置では、前記エアシリンダの空圧を制御することにより低周波振動を制振するとともに、前記電磁カリニアモータの電流制御により高周波振動を絶縁する制御装置を更に備えていても良い。かかる場合には、各ステージの駆動により生じる反力によってステージベースに生じる低周波振動を制振することができるとともに、高周波振動である床面からの微振動を絶縁することができる。

本発明に係る露光装置では、前記第 1、第 2 のステージベースの少なくとも一方に、ステージが複数搭載されていても良い。例えば、第 1 のステージベース上にステージ、すなわち基板ステージが複数搭載されている場合には、1 つの基板ステージ上の基板に対する露光中に、他の基板ステージ上で基板交換、基板上のアライメントマークの検出等の他の動作を並行して行うことができ、単一の基板ステージを有する場合に比べて、スループットの向上が可能である。また、例えば、第 2 のステージベース上にステージ、すなわちマスクステージが複数搭載されている場合には、それら複数のマスクステージの位置を入れ替えるだけで、マスク交換が可能になるので、複数のマスクを用いた 2 重露光等の多重露光を、スループットを向上して行なうことが可能になる。特に、基板ステージとマスクステージとを複数設ける場合には、1 つの基板ステージ上の基板に対する多重露光中に他の基板ステージ上で基板交換、基板上のアライメントマークの検出等の他の動作を並行して行うことができ、複数のマスクを用いた 2 重露光等の多重露光を高スループットで実現することができる。

本発明に係る露光装置では、前記露光本体部は、前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステージと、前記マスクステージを移動可能に支持するステージベースとを有し、前記パラレルリンク機構は、前記ステージベースの 3 自由度方向の位置・姿勢を制御することとすることができる。かかる場合には、パラレルリンク機構がステージベースの 3 自由度方向の位置・姿勢を制御することにより、結果的にマスクの 3 自由度方向の位置・姿勢の調整を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。マスクステージを軽量化することで、例えばリニアモータ等によりステージベース上で駆動する際の駆動力と駆動反力を低減することができる。

この場合において、前記パラレルリンク機構は、ベース部材と、該ベース部材と前記ステージベースとを連結する少なくとも 3 本の伸縮可能なロッドと、前記各ロッドに設けられ当該各ロッドを伸縮させる伸縮機構とを有することと

することができる。かかる場合には、各ロッドに設けられた伸縮機構により各ロッドを独立して伸縮させて、ステージベースの少なくとも3自由度方向の位置・姿勢を制御することにより、結果的にマスクステージの少なくとも3自由度方向（例えば、 $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）の相対位置の調整を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。また、マスクステージをも軽量化することで、各ステージの駆動力とその駆動反力を低減することができる。

本発明に係る露光装置では、前記露光本体部の少なくとも一部を外気と隔離した状態で収納するとともにその姿勢の変化を許容するチャンバを更に備えることができる。かかる場合には、パラレルリンク機構により支持された露光本体部の一部を、パラレルリンク機構の利点を利用して、軽量化することができ、かつ動作特性良く、高い剛性で、精度良く姿勢制御を行うことが可能になる。また、チャンバにより、その露光本体部の少なくとも一部をその姿勢の変化を許容して外気と隔離した状態で収納するので、そのチャンバ内に窒素ガス（ $N_2$ ）、ヘリウムガス（ $He$ ）等を充填することにより、 $ArF$ エキシマレーザー光あるいはそれより短波長の $F_2$ レーザー光等の真空紫外光を用いた微細パターンを高解像度で基板上に転写することが可能になる。

この場合において、前記チャンバ内に不活性ガスをパージするための真空排気系と気体供給系とを更に備えることが望ましい。かかる場合には、真空排気系によりチャンバ内の気体を排気し、気体供給系により不活性ガス、例えば窒素ガス（ $N_2$ ）、ヘリウムガス（ $He$ ）等を供給することにより、チャンバ内の気体を速やかに不活性ガスに置換することができるとともに、その内圧を所望の値に設定することができる。

本発明に係る露光装置では、露光本体部が、基板ステージ及びそれを支持する第1のステージベース、投影光学系、並びにマスクステージ及びこれを支持する第2のステージベースを有し、第1、第2のステージベースの3自由度方向の位置・姿勢の調整を行うパラレルリンク機構を備える場合に、前記マスク

ステージを収納するとともに前記第2のステージベースを一部とする第1室と、前記投影光学系を収納する第2室と、前記基板ステージを収納するとともに前記第1のステージベースを一部とする第3室と、前記第1室と第2室、及び前記第2室と前記第3室とをそれぞれ連結する伸縮自在の蛇腹状部材とを有し、前記基板ステージ、投影光学系、及び前記マスクステージを外気と隔離するチャンバを更に備えていても良い。かかる場合には、第1のステージベースを一部とする第3室内に基板ステージが収納され、投影光学系が第2室内に収納され、かつマスクステージが第2のステージベースを一部とする第1室内に収納され、前記第1室、第2室、及び第3室間が伸縮自在の蛇腹状部材で連結されているので、パラレルリンク機構により第1、第2のステージベースの3自由度方向の位置・姿勢の調整を支障無く行うことができる。また、チャンバにより基板ステージ、投影光学系、及びマスクステージが外気と隔離されている。従って、チャンバ内に窒素ガス ( $N_2$ )、ヘリウムガス ( $He$ ) 等を充填することにより、ArFエキシマレーザ光あるいはそれより短波長の  $F_2$  レーザ光等の真空紫外光を用いた微細パターンを高解像度で基板上に転写することが可能になる。

この場合において、前記チャンバ内に不活性ガスをパージするための真空排気系と気体供給系とを更に備えることが望ましい。かかる場合には、真空排気系によりチャンバ内の気体を排気し、気体供給系により不活性ガス、例えば窒素ガス ( $N_2$ )、ヘリウムガス ( $He$ ) 等を供給することにより、チャンバ内の気体を速やかに不活性ガスに置換できるとともに、その内圧を所望の値に設定することができる。

本発明は、第3の観点からすると、マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、前記マスクを保持するマスクステージを提供する工程と；前記マスクのパターンを基板に投影する投影光学系を提供する工程と；前記基板を保持する基板ステージを提供する工程と；前記マスクステージ及

び前記基板ステージの少なくとも一方と前記投影光学系との少なくとも3自由度方向の相対位置を制御可能に前記マスクステージ及び前記基板ステージの少なくとも一方を支持するパラレルリンク機構を提供する工程とを含む第1の露光装置の製造方法である。

これによれば、照明系、投影光学系、マスクステージ及び基板ステージ、マスクステージ及び基板ステージの少なくとも一方と投影光学系との少なくとも3自由度方向の相対位置を制御可能にマスクステージ及び基板ステージの少なくとも一方を支持するパラレルリンク機構、並びにその他の様々な部品を機械的、光学的、及び電氣的に組み合わせて調整することにより、本発明に係る露光装置を製造することができる。

本発明は、第4の観点からすると、マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、前記マスクを保持するマスクステージを提供する工程と；前記マスクのパターンを前記基板に投影する投影光学系を提供する工程と；前記基板を保持する基板ステージを提供する工程と；前記基板ステージを移動可能に支持する第1のステージベースを提供する工程と；前記マスクステージを移動可能に支持する第2のステージベースを提供する工程と；前記第1、第2のステージベースの少なくとも一方と前記投影光学系との少なくとも3自由度方向の相対位置を制御可能に前記第1、第2のステージベースの少なくとも一方を支持するパラレルリンク機構を提供する工程とを含む第2の露光装置の製造方法である。

これによれば、照明系、投影光学系、基板ステージ、マスクステージ、基板ステージを移動可能に支持する第1のステージベース、マスクステージを移動可能に支持する第2のステージベース、第1、第2のステージベースの少なくとも一方と前記投影光学系との少なくとも3自由度方向の相対位置を制御可能に前記第1、第2のステージベースの少なくとも一方を支持するパラレルリンク機構、並びにその他の様々な部品を機械的、光学的、及び電氣的に組み合わ

せて調整することにより、本発明に係る露光装置を製造することができる。

また、リソグラフィ工程において、本発明の露光装置を用いて露光を行うことにより、基板上に複数層のパターンを重ね合せ精度良く形成することができ、これにより、より高集積度のマイクロデバイスを歩留まり良く製造することができる。従って、本発明は別の観点からすると、本発明の露光装置を用いるデバイス製造方法であるとも言える。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の第 1 の実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

図 2 は、図 1 のパラレルリンク機構の構成各部を示す、一部省略した平面図である。

図 3 は、図 1 の第 1 のロッド 78<sub>1</sub>を示す一部省略した断面図である。

図 4 は、第 1 の実施形態に係る露光装置におけるパラレルリンク機構の制御の原理を説明するために、駆動系の構成モデルを簡略化して示す図である。

図 5 は、図 4 の駆動系における制御モデルを示すブロック図である。

図 6 は、静止座標系とロッド座標系との関係を示す図である。

図 7 は、図 4 のロッドの構成モデルと、ロッド及び被駆動体に発生する反力を説明するための図である。

図 8 は、第 1 の実施形態に係る露光装置の制御系の構成を簡略化して示すブロック図である。

図 9 は、本発明の第 2 の実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

図 10 は、図 9 の第 1 のパラレルリンク機構を示す斜視図である。

図 11 は、図 9 のウエハステージの X Y 面内の位置を検出するウエハレーザ干渉計システムを示す平面図である。

図 1 2 は、第 2 の実施形態に係る露光装置におけるパラレルリンク機構の制御の原理を説明するために、駆動系の構成モデルを簡略化して示す図である。

図 1 3 は、第 1 のパラレルリンク機構によりウエハステージが X 軸方向に駆動される様子を示す図である。

図 1 4、第 1 のパラレルリンク機構によりウエハステージが Z 軸方向に駆動される様子を示す図である。

図 1 5 は、第 1 のパラレルリンク機構によりウエハステージがローリング制御される様子を示す図である。

図 1 6 は、第 1 のパラレルリンク機構によりウエハステージがヨーイング制御される様子を示す図である。

図 1 7 は、第 2 の実施形態に係る露光装置の制御系の構成を簡略化して示すブロック図である。

図 1 8 は、本発明の露光装置を用いたデバイス製造方法を説明するためのフローチャートである。

図 1 9 は、図 1 8 のウエハプロセスステップ（ステップ 2 0 4）における処理のフローチャートである。

## 発明を実施するための最良の形態

### 《第 1 の実施形態》

以下、本発明の第 1 の実施形態を図 1 ～図 8 に基づいて説明する。図 1 には、第 1 の実施形態の露光装置の構成が概略的に示されている。この露光装置 1 0 は、真空紫外域の露光用照明光 E L をマスクとしてのレチクル R に照射した状態で、レチクル R と基板としてのウエハ W とを所定の走査方向（ここでは、図 1 における紙面左右方向である Y 軸方向とする）に同期移動しつつ、レチクル R のパターンを投影光学系 P L を介してウエハ W 上の複数のショット領域に転写するステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置、すなわちいわ



ゆるスキヤニング・ステッパである。

この露光装置 10 は、不図示の光源からの露光用照明光 E L によりレチクル R を照明する照明光学系 I O P、レチクル R を保持するマスクステージとしてのレチクルステージ R S T、レチクル R から出射される露光用照明光 E L をウエハ W 上に投射する投影光学系 P L、及びウエハ W を保持して X Y 2 次元移動する基板ステージとしてのウエハステージ W S T 等を備えている。

前記照明光学系 I O P は、不図示の照明系支持部材によって支持されている。この照明光学系 I O P は、内部を外気に対して気密状態にする照明系ハウジングを備え、この照明系ハウジング内には、空気（酸素）の含有濃度を数%以下、望ましくは 1 % 未満にしたクリーンな不活性ガスであって真空紫外域の波長の光の吸収特性が低い低吸収性ガス、例えば乾燥窒素（N<sub>2</sub>）、ヘリウム（H e）、アルゴン（A r）、ネオン（N e）、クリプトン（K r）などのガス、またはそれらの混合ガスが充填されている。これは、本実施形態のように真空紫外域の波長の光を露光用照明光とする場合には、その光路から酸素、水蒸気、炭化水素系のガス等の、かかる波長帯域の光に対し強い吸収特性を有するガス（以下、適宜「吸収性ガス」という）を排除する必要があるため、照明系ハウジングの内部に、上記の不活性ガス（以下、適宜「低吸収性ガスともいう）を充填し、大気圧に対して例えば 1 ～ 10 % 程度高い圧力（以下、適宜「所定の圧力」と呼ぶ）としているものである。

照明系ハウジング内には、例えば、特開平 7 - 1 4 2 3 5 4 号公報及びこれに対応する米国特許第 5, 5 3 4, 9 7 0 号などに開示されるように、ビーム整形光学系、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ系、振動ミラー、集光レンズ系、リレーレンズ系、レチクルブラインド機構、主コンデンサレンズ系等が所定の位置関係で収納されている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする

照明光学系 I O P の図 1 における紙面奥側には、少なくとも一部にビームマッチングユニットと呼ばれる光軸調整用の光学系を含む引き回し光学系が接続されており、この引き回し光学系を介して床面 F D 上に設置された不図示の光源が接続されている。この光源としては、例えば、波長約 120 nm ~ 約 180 nm の真空紫外域に属する光を発する光源、例えば発振波長 157 nm のフッ素レーザ (F<sub>2</sub> レーザ)、発振波長 146 nm のクリプトンダイマーレーザ (K r<sub>2</sub> レーザ)、発振波長 126 nm のアルゴンダイマーレーザ (A r<sub>2</sub> レーザ) などが用いられている。なお、光源として発振波長 193 nm の A r F エキシマレーザ等を用いても構わない。この光源には、不図示の光源制御装置が接続されており、この光源制御装置によって光源から射出されるパルス紫外光の発振中心波長の制御、パルス発振のトリガ制御、レーザチャンバ内のガスの制御等が行われるようになっている。

照明光学系 I O P により、レチクルブラインド機構を構成する固定レチクルブラインド (固定視野絞り) によって規定されるレチクル R 上のスリット状の照明領域が均一な照度で照明される。この場合、スリット状照明領域は、図 1 中の投影光学系 P L の円形投影視野の中央に X 軸方向 (非走査方向) に細長く延びるように設定され、その Y 軸方向 (走査方向) の幅はほぼ一定に設定されている。

なお、光源は、クリーンルームよりクリーン度が低い別の部屋 (サービスルーム) あるいはクリーンルームの床下に設けられたユーティリティスペースに設置しても構わない。

前記レチクルステージ R S T は、第 2 のステージベースとしての平面視三角形状のレチクルベース定盤 12 の上面の上方に不図示の非接触軸受 (例えば、エアパッド) を介して所定のクリアランス、例えば 5 μm 程度のクリアランスを介して浮上支持されている。このレチクルステージ R S T は、リニアモータ等を含むレチクル駆動装置 14 (図 1 では図示省略、図 8 参照) によって、走

査方向である Y 軸方向に所定ストローク範囲で走査されるとともに、水平面（X Y 平面）内で微小駆動可能になっている。このレチクルステージ R S T 上に不図示のバキュームチャックあるいは静電チャックを介してレチクル R が吸着保持されている。

レチクルベース定盤 1 2 の上部には、その上面にレチクル R より一回り小さい矩形の開口 1 6 a が形成された隔壁 1 6 が設けられており、この隔壁 1 6 とレチクルベース定盤 1 2 とによって、その内部にレチクルステージ R S T を収納する第 1 室としてのレチクル室 1 8 が形成されている。隔壁 1 6 は、ステンレス（S U S）等の脱ガスの少ない材料にて形成されている。また、この隔壁 1 6 の上端部は、照明系ハウジングの出射端部にケミカルクリーンな素材であるフッ素ゴムから成る伸縮自在の蛇腹状部材 2 0 によって内部を外気と隔離した状態で接続されている。

照明光学系 I O P の照明系ハウジングの出射端面には、照明系ハウジングの内部空間とレチクル室 1 8 側の空間とを分離する状態で不図示の透過窓が配置されている。この透過窓は、照明光学系 I O P からレチクル R に照射される露光用照明光 E L の光路上に配置されるため、露光用照明光 E L としての真空紫外光に対して透過性の高いホタル石等の結晶材料によって形成されている。

レチクルベース定盤 1 2 には、レチクル R を透過した露光用照明光 E L の通路となる断面矩形の開口が形成されている。また、このレチクルベース定盤 1 2 には、後述するレチクルレーザ干渉計の支持部材を挿入するための上下方向に貫通した開口 1 2 a も形成されている。なお、レチクルベース定盤 1 2 の支持機構等については後述する。

レチクルステージ R S T の X Y 面内の位置（X 位置、Y 位置、及び Z 軸回りの回転（ $\theta_z$  回転））は、レチクルステージ R S T 上に固定された移動鏡 2 2 R を介してレチクルレーザ干渉計 2 4 R によって所定の分解能、例えば 0. 5 ～ 1 n m 程度の分解能で計測されている。なお、実際には、レチクルステージ

R S T 上には、X 軸方向に直交する反射面を有する X 移動鏡と、Y 軸方向に直交する反射面を有する Y 移動鏡とが設けられ、レチクルレーザ干渉計も Y 軸方向位置計測用の 2 つの干渉計  $24Ry_1$ 、 $24Ry_2$  と、X 軸方向位置計測用の干渉計  $24Rx$  とが設けられているが（図 8 参照）、図 1 においては、これらが代表して移動鏡 22R、レチクルレーザ干渉計 24R として示されている。

レチクルレーザ干渉計 24R、すなわち干渉計  $24Ry_1$ 、 $24Ry_2$ 、 $24Rx$  のそれぞれは、その下端が後述する投影光学系 PL の鏡筒の上部に固定され、その上端が前記開口 12a 及びこれと同様の不図示の開口をそれぞれ介してレチクルベース定盤 12 の上部にそれぞれ露出した 3 本の支持部材 26 の上端部にそれぞれ固定されている。

レチクルレーザ干渉計 24R、すなわち干渉計  $24Ry_1$ 、 $24Ry_2$ 、 $24Rx$  の計測値は、ステージ制御装置 52 及びこれを介して主制御装置 50 に供給されている（図 8 参照）。ステージ制御装置 52 では、干渉計  $24Ry_1$ 、 $24Ry_2$  の計測値の平均値に基づいてレチクルステージ R S T の Y 位置を算出し、それらの計測値の差と干渉計軸間距離とに基づいてレチクルステージ R S T の  $\theta z$  回転を算出し、干渉計  $24Rx$  の計測値に基づいてレチクルステージ R S T の X 位置を算出する。これらの算出結果は、ステージ制御装置 52 から主制御装置 50 にリアルタイムで通知される。

また、レチクルベース定盤 12 の下面には、反射ミラー 28 が固定されており、この反射ミラー 28 の Z 位置を計測するレチクルベース用干渉計 30 が、投影光学系 PL の上端面の外周部近傍の所定の位置に設けられている。なお、実際には、レチクルベース定盤 12 の下面には、反射ミラーが異なる 3 箇所に固定されており、これら 3 つの反射ミラーにそれぞれ対応して投影光学系 PL の上端面の外周部近傍の 3 箇所に第 1 干渉計  $30_1$ 、第 2 干渉計  $30_2$ 、及び第 3 干渉計  $30_3$  がそれぞれ設けられているが（図 8 参照）、図 1 ではこれらが代表して反射ミラー 28、レチクルベース用干渉計 30 として示されている。第

1 干渉計 3 0<sub>1</sub>、第 2 干渉計 3 0<sub>2</sub> 及び第 3 干渉計 3 0<sub>3</sub> は、3 つの反射ミラーの Z 位置をそれぞれ計測する。これらの 3 つの干渉計 3 0<sub>1</sub>、第 2 干渉計 3 0<sub>2</sub>、及び第 3 干渉計 3 0<sub>3</sub> の計測値は、ステージ制御装置 5 2、及びこれを介して主制御装置 5 0 に供給されている。ステージ制御装置 5 2 では、3 つの干渉計 3 0<sub>1</sub>、3 0<sub>2</sub>、及び 3 0<sub>3</sub> の計測値を用いて所定の演算を行うことにより、レチクルベース定盤 1 2 の Z 位置、 $\theta_x$  回転（ピッチング）及び  $\theta_y$  回転（ローリング）を算出する。これらの算出結果は、ステージ制御装置 5 2 から主制御装置 5 0 にリアルタイムで通知される。

前記投影光学系 P L は、ホタル石、フッ化リチウム等のフッ化物結晶から成るレンズや反射鏡からなる光学系を、鏡筒で保持したものである。本実施形態では、この投影光学系 P L として、例えば、円形イメージフィールドを有し、かつ物体面側、及び像面側が共にテレセントリックであるとともに、その投影倍率  $\beta$  が例えば  $1/4$  倍又は  $1/5$  倍となる縮小系が用いられている。この投影光学系 P L としては、上記のフッ化物結晶から成るレンズのみから成る屈折光学系を用いても良いが、ここでは、反射光学素子と屈折光学素子とを有する反射屈折型の投影光学系（カタディオプトリック系）が用いられている。かかる反射屈折型の投影光学系を備えた走査型露光装置によれば、例えば波長  $157\text{ nm}$  の  $F_2$  レーザ光を露光用照明光として用いても  $100\text{ nm L/S}$  パターン程度の微細パターンをウエハ上に高精度に転写することが可能である。なお、投影光学系として反射光学素子のみからなる反射系を採用しても良い。

ここで、反射屈折型の投影光学系としては、例えば特開平 8-171054 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,668,672 号、並びに特開平 10-20195 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,835,275 号などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタと凹面鏡とを有する反射屈折系、又は特開平 8-334695 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,689,377 号、並びに特開平 10-3039 号公報及びこれに対応す

る米国特許出願第 8 7 3, 6 0 5 号（出願日：1 9 9 7 年 6 月 1 2 日）などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタを用いずに凹面鏡などを有する反射屈折系を用いることができる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報及びこれらに対応する米国特許、及び米国特許出願における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

この他、特開平 1 0 - 1 0 4 5 1 3 号公報及び米国特許第 5, 4 8 8, 2 2 9 号に開示される、複数の屈折光学素子と 2 枚のミラー（凹面鏡である主鏡と、屈折素子又は平行平板の入射面と反対側に反射面が形成される裏面鏡である副鏡）とを同一軸上に配置し、その複数の屈折光学素子によって形成されるレチクルパターンの中間像を、主鏡と副鏡とによってウエハ上に再結像させる反射屈折系を用いても良い。この反射屈折系では、複数の屈折光学素子に続けて主鏡と副鏡とが配置され、照明光が主鏡の一部を通過して副鏡、主鏡の順に反射され、さらに副鏡の一部を通過してウエハ上に達することになる。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

本実施形態では、上述の如く、投影光学系 P L として、投影倍率  $\beta$  が例えば  $1/4$  あるいは  $1/5$  の縮小光学系が用いられているため、照明光学系 I O P からの露光用照明光 E L によりレチクル R が照明されると、レチクル R 上の前記スリット状照明領域内の回路パターンの縮小像（部分倒立像）がウエハ W 上のスリット状照明領域と共役な露光領域に形成される。

本実施形態のように、真空紫外の露光波長を使用する露光装置では、酸素等の吸収性ガスによる露光用照明光の吸収を避けるために、投影光学系 P L の鏡筒内部の気体も上記の不活性ガス（低吸収性ガス）で置換する必要がある。このため、本実施形態では、投影光学系 P L の鏡筒内部には前記不活性ガスが満たされており、その気圧が前記所定の圧力に設定されている。なお、この投影

光学系 P L の鏡筒内部の気体を上記の不活性ガス（低吸収性ガス）で置換する方法等については後述する。

投影光学系 P L の鏡筒の高さ方向中央やや下方の位置には、フランジ部 F L G が設けられている。この投影光学系 P L は、フランジ部 F L G を含む鏡筒全体が、ステンレス（S U S）等の脱ガスの少ない材料にて形成された隔壁によって覆われ、この隔壁によって投影光学系 P L を収納する第 2 室としてのレンズ室 3 2 が形成されている。このレンズ室 3 2 を形成する隔壁の天井壁にはその一部に開口部が形成されており、その開口部の外側部分がフッ素ゴムから成る伸縮自在の蛇腹状部材 3 4 によって内部を外気と隔離した状態でレチクルベース定盤 1 2 に接続されている。また、レンズ室 3 2 を形成する隔壁の底壁には、投影光学系 P L からウエハ W に投射される露光用照明光 E L の通路となる開口部が形成されている。この開口部の外側部分がフッ素ゴムから成る伸縮自在の蛇腹状部材 3 6 によって内部を外気と隔離した状態で後述するウエハ室を形成する隔壁に接続されている。

前記ウエハステージ W S T は、第 1 のステージベースとしての平面視三角形のウエハベース定盤 3 8 上を、例えば米国特許第 5 1 9 , 7 4 5 号などに開示された磁気浮上型 2 次元リニアアクチュエータ（平面モータ）から成るウエハ駆動装置 4 0（図 1 では図示省略、図 8 参照）によって、X Y 面内で自在に駆動されるようになっている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

このウエハステージ W S T 上に不図示のバキュームチャックあるいは静電チャックを介してウエハ W が吸着保持されている。

ウエハベース定盤 3 8 の上部には、所定形状の開口が形成された隔壁 4 2 が設けられており、この隔壁 4 2 とウエハベース定盤 3 8 とによって、その内部にウエハステージ W S T を収納する第 3 室としてのウエハ室 4 4 が形成されて

いる。隔壁４２は、ステンレス（ＳＵＳ）等の脱ガスの少ない材料にて形成されている。また、この隔壁４２の上端部は、前述の如く、蛇腹状部材３６によって内部を外気と隔離した状態でレンズ室３２の下端に接続されている。なお、ウエハベース定盤３８の支持機構等については後述する。

本実施形態では、レチクル室１８を形成するレチクルベース定盤１２及び隔壁１６、レンズ室３２を形成する隔壁、ウエハ室４４を形成するウエハベース定盤３８及び隔壁４２、並びにウエハ室４４とレンズ室３２とを接続する蛇腹状部材３６、レンズ室３２とレチクル室１８とを接続する蛇腹状部材３４、及びレチクル室１８と照明光学系ＩＯＰとを接続する蛇腹状部材２０によって、ウエハステージＷＳＴ、投影光学系ＰＬ、及びレチクルステージＲＳＴを外気と隔離するチャンバ４６が構成されている（図１参照）。本実施形態のように真空紫外域の波長の光を露光用照明光とする場合には、その光路から前述した酸素等の吸収性ガスを排除する必要があるため、チャンバ４６の内部、すなわち、レチクル室１８、レンズ室３２、ウエハ室４４内に低吸収性ガス、例えばヘリウムガスを充填し、その内圧を前記所定の圧力としている。

これを更に詳述すると、チャンバ４６を構成するレチクル室１８の隔壁１６には、フレキシブルチューブから成る第１の配管４８の一端が接続され、この第１の配管４８の他端はヘリウムガス供給装置（以下、「ガス供給装置」という）５４の吐出口に接続されている。また、チャンバ４６を構成するウエハ室４４の隔壁には、フレキシブルチューブから成る第２の配管５６の一端が接続され、この配管５６の他端は電磁弁から成る流路切り換え弁（三方弁）を内蔵した流路切り換え装置５８の流入口が接続されている。この流路切り換え装置５８の第１の流出口は、第３の配管６０を介してガス供給装置５４のリターン口に接続されている。また、この流路切り換え装置５８の第２の流出口は、配管６２、６４を介してターボ分子ポンプ６６、及びドライポンプ６８に順次接続されている。



前記ガス供給装置 5 4 には、その内部に酸素の含有濃度が 1 %未満のクリーンなヘリウムガスを収納したガス収納室が設けられている。このガス収納室の吐出口側（出口側）とリターン口側（入り口側）には、それぞれ第 1 ポンプ、第 2 ポンプが設けられている。ガス収納室内のヘリウムガスは、不図示の温度調整装置により所定の目標温度に制御されている。また、リターン口の近傍には、ケミカルフィルタ、エアーフィルタ等が設けられている。

ここで、チャンバ 4 6 内の内部気体（空気）をヘリウムで置換する方法について、簡単に説明する。なお、以下に説明する制御動作は、後述する主制御装置 5 0（図 8 参照）によって不図示の圧力センサの出力等をモニタしつつ行われる。

まず、流路切り換え装置 5 8 内の流路切り換え弁をターボ分子ポンプ 6 6 側に切り換え、ドライポンプ 6 8 を ON にして該ドライポンプ 6 8 によりチャンバ 4 6 内を真空引きする。そして、チャンバ 4 6 内が所定の第 1 の真空状態になると、ターボ分子ポンプ 6 6 をオンにすると同時にドライポンプ 6 8 を OFF して、更にチャンバ 4 6 内を真空引きしてチャンバ 4 6 内が第 2 の真空状態、例えば 0. 1 h P a 以下になると、流路切り換え装置 5 8 内の流路切り換え弁をガス供給装置 5 4 側に切り換えると同時に、ターボ分子ポンプ 6 6 を OFF する。上記の減圧により、チャンバ 4 6 内から酸素等の吸収性ガスが除去される。

次に、ガス供給装置 5 4 内の不図示の給気弁を開成すると同時に第 1 のポンプを作動する。これにより、ガス供給装置 5 4 からチャンバ 4 6 内へのヘリウムガスの供給が開始される。そして、供給開始から所定時間の経過により、チャンバ 4 6 内の圧力が前述した所定圧力になると、給気弁を開成すると同時に第 1 のポンプを停止する。

このようにして、チャンバ 4 6 内のガス置換が行われ、チャンバ 4 6 内各部、具体的にはレチクル室 1 8、レンズ室 3 2、ウエハ室 4 4 及び投影光学系 P

Lの鏡筒内部にヘリウムガスが充填される。

なお、本実施形態では、図1からも明らかなように、ヘリウムガスの供給系は、ヘリウムガスの循環経路を有する循環系となっており、経済的になっている。この場合、ガス供給装置54のリターン口に戻るヘリウムガスには、パーティクル及び化学的不純物が含まれる可能性が高いが、前述の如く、リターン口の近傍に、ケミカルフィルタ、エアーフィルタ等が設けられているので、ガス収納室内には、ケミカルクリーンでかつパーティクルも殆ど含まれない清浄度の高いヘリウムガスが戻るようになっている。

ウエハステージWSTのXY面内の位置(X位置、Y位置、及び $\theta z$ 回転)は、ウエハステージWST上に固定された移動鏡22Wを介してウエハレーザ干渉計24Wによって所定の分解能、例えば0.5~1nm程度の分解能で計測されている。ウエハレーザ干渉計24Wは、投影光学系PLの鏡筒の下方に支持部材70によって吊り下げ支持されている。

なお、ウエハベース定盤38の上面の所定部分に鏡面加工を施して反射面を形成し、この反射面のZ位置を計測するウエハベース用干渉計を、前記ウエハレーザ干渉計24W下側に固定しても良い。

この場合、実際には、ウエハステージWST上には、X軸方向に直交する反射面を有するX移動鏡と、Y軸方向に直交する反射面を有するY移動鏡とが設けられ、ウエハレーザ干渉計もY軸方向位置計測用の2つの干渉計 $24Wy_1$ 、 $24Wy_2$ と、X軸方向位置計測用の干渉計 $24Wx$ とが設けられている(図8参照)。ウエハレーザ干渉計24W、すなわち干渉計 $24Wy_1$ 、 $24Wy_2$ 、 $24Wx$ の計測値は、ステージ制御装置52、及びこれを介して主制御装置50に供給されている(図8参照)。ステージ制御装置52では、干渉計 $24Wy_1$ 、 $24Wy_2$ の計測値の平均値に基づいてウエハステージWSTのY位置を算出し、それらの計測値の差と干渉計軸間距離とに基づいてウエハステージWSTの $\theta z$ 回転を算出し、干渉計 $24Wx$ の計測値に基づいてウエハステ

ージWSTのX位置を算出する。これらの算出結果は、ステージ制御装置52から主制御装置50にリアルタイムで通知される。

この一方、投影光学系PLを基準とするウエハWのZ方向位置は、投影光学系PLの鏡筒に固定された斜入射光式のフォーカスセンサ73によって計測されるようになっている。このフォーカスセンサ73は、図1に示されるように、投影光学系PLの鏡筒外周部に固定され、ウエハWの表面に対し斜め方向から検出ビームを照射する送光系73aと、同じく投影光学系PLの鏡筒外周部に固定され、ウエハWの表面で反射された検出ビームを受光する受光系73bとから構成されている。この場合、送光系73aと受光系73bとは、ともにX軸、Y軸に対して45度の角度をなす向きで設けられている。このフォーカスセンサ73としては、例えば特開平6-283403号公報及びこれに対応する米国特許第5,448,332号等の開示される多点焦点位置検出系が用いられている。本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及び米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。このフォーカスセンサ73(73a、73b)は投影光学系PLの鏡筒に一体的に固定されることが重要である。

このフォーカスセンサ73の出力は、ステージ制御装置52に供給されるようになっており、ステージ制御装置52では、このフォーカスセンサ73の出力に基づいて、投影光学系PLに対するウエハWのZ、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向の相対位置、具体的には、ウエハW表面の前記露光領域内のZ位置(デフォーカス量)及び $\theta_x$ 回転(ピッチング量)及び $\theta_y$ 回転(ローリング量)を算出する。この算出結果であるウエハWの露光領域内のフォーカス・レベリング計測結果は、主制御装置50にリアルタイムで通知される。

次に、上記のレチクルベース定盤12、投影光学系PL、及びウエハベース定盤38のそれぞれを支持する支持機構について説明する。この支持機構として、本実施形態では、平行リンク機構74が用いられている。図2には、

パラレルリンク機構 7 4 の構成各部を示す、一部省略した平面図が示されている。なお、図 1 は、図 2 の A-A 線断面に対応する図を示したものである。

パラレルリンク機構 7 4 は、ウエハベース定盤 3 8 の  $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  の 3 自由度方向の位置・姿勢を制御する第 1 の機構と、レチクルベース定盤 1 2 の  $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  の 3 自由度方向の位置・姿勢を制御する第 2 の機構と、投影光学系 PL の  $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  の 3 自由度方向の位置・姿勢を制御する第 3 の機構とを備えている。

この内、第 1 の機構は、クリーンルームの床面 FD 上の所定大きさの正三角形の各頂点位置の近傍に配置された 3 つの第 1 のベース部材 7 6<sub>1</sub>、7 6<sub>2</sub>、7 6<sub>3</sub>（図 2 参照）と、これらの第 1 のベース部材 7 6<sub>1</sub>、7 6<sub>2</sub>、7 6<sub>3</sub> のそれぞれとウエハベース定盤 3 8 とを連結する 3 本の伸縮可能な第 1 のロッド 7 8<sub>1</sub>、7 8<sub>2</sub>、7 8<sub>3</sub> とを有している。

これらの第 1 のロッド 7 8<sub>1</sub>、7 8<sub>2</sub>、7 8<sub>3</sub> のそれぞれは、図 1 に示されるように、それぞれの軸方向に相対移動可能な第 1 軸部材 7 9 と、第 2 軸部材 8 0 とを有しており、第 1 軸部材 7 9 の一端（下端）は、対応する第 1 のベース部材 7 6 にボルト又はピンから成る支軸 8 1 を中心として起伏回動可能に取り付けられており、第 2 軸部材 8 0 の他端（上端）は、ウエハベース定盤 3 8 に上記と同様にして回動可能に取り付けられている。

図 3 には、1 つの第 1 のロッド 7 8<sub>1</sub> の一部省略した断面図が示されている。この図 3 に示されるように、第 1 軸部材 7 9 の内部には、段付き円柱状の中空部 8 2 が形成されており、この中空部 8 2 内の一側（図 3 における左側）には、ペローズ型のエアシリンダ 8 4 が収納されている。このエアシリンダ 8 4 には、不図示の空圧回路の一端部を成す配管 8 6 の一端が接続され、空圧回路の他端側に空気圧源が接続されている。そして、その空気圧源から供給される圧縮空気の空気圧を空圧回路を介して制御することにより、エアシリンダ 8 4 の内圧を制御し、これによってピストン 8 4 A が軸方向に往復動されるように

なっている。この図3のエアシリンダ84では、戻り工程は、パラレルリンク機構に組み込まれた際にピストン84Aに作用する重力を利用するようになっている。

また、第1軸部材79の中空部82内の他側（図3における右側）に、軸方向に並べて配置された複数の電機子コイルから成る電磁カリニアモータの一種であるシャフトモータ92の固定子を構成する電機子ユニット88が配置されている。ここで、シャフトモータ92として3相モータが用いられているので、電機子ユニット88は、後述するピッチLに対して1相分のコイル軸方向長 $L/3$ のコイルを3相分直列に配列したコイルユニットを複数個直列に接続したものである。

一方、第2軸部材80は、磁性体部材から成る円管状の可動子ヨーク80aと、この可動子ヨーク80aの軸方向（長手方向）の他端（図3における右端）に設けられた取付け部材80bとを有している。可動子ヨーク80aの外周部には、同一寸法の複数の永久磁石から成る中空円柱状、すなわち円筒状の磁石体89が設けられている。この場合、可動子ヨーク80aと磁石体89とによって、シャフトモータ92の可動子としての中空円柱状の磁極ユニット90が構成されている。磁石体89は、軸方向に沿って所定間隔で配置され、軸方向に磁化された円筒状の永久磁石から成る複数の第1磁石と、隣り合う第1磁石相互間に配設され、半径方向に磁化された永久磁石から成る複数の第2磁石とを備えている。相互に隣り合う第1磁石同士は、同一磁極同士が対向している。また、相互に隣り合う第2磁石同士は、極性が交互に反対極性とされ、かつ隣接する第1磁石の対向面の磁極と同一の磁極がその外面側に位置している。

従って、固定子の周囲には、第1磁石及び第2磁石の長さを $L_1$ として、ピッチ $L = 2L_1$ の開磁気回路（又は閉磁気回路）が、全方位に渡って（放射状に）形成される。

このようにして構成されたシャフトモータ 92 では、固定子である電機子ユニット 88 の各コイルに対し、所定周期及び所定振幅の正弦波状の駆動電流を供給することにより、磁極ユニット 90 と電機子ユニット 88 との間の電磁氣的相互作用の一種である電磁相互作用によって発生するローレンツ力（駆動力）により第 1 軸部材 79 に対し第 2 軸部材 80 が軸方向に相對駆動される。

すなわち、本実施形態では、上述したエアシリンダ 84 と、シャフトモータ 92 とによって、第 1 軸部材 79 と第 2 軸部材 80 とを軸方向に相對駆動して、第 1 のロッド 78<sub>1</sub> を伸縮させる第 1 の伸縮機構 94<sub>1</sub> が構成されている。

また、第 1 のロッド 78<sub>1</sub> を構成する第 1 軸部材 79 の内周面には、前記シャフトモータ 92 の可動子である磁極ユニット 90 を固定子である電機子ユニット 88 に対して非接触で支持する軸受け装置としての気体静圧軸受け装置、ここではエアパッド（空気静圧軸受け装置）96 が複数設けられている。各エアパッド 96 には、給気経路 98 及び給気管路 99 を介して不図示の空圧源に接続された不図示の空圧回路が接続されている。そして、その空圧源から供給される圧縮空気の圧力が空圧回路を介して制御され、所定圧力の加圧空気が各エアパッド 96 から磁極ユニット 90 の外周面に向けて噴き出され、その加圧空気の静圧、いわゆる隙間内圧力により磁極ユニット 90 が電機子ユニット 88 に対して非接触で支持されるようになっている。

このため、そのエアパッド 96 が設けられた、第 1 のロッド 78<sub>1</sub> の伸縮を第 1 の伸縮機構 94<sub>1</sub> により制御する際の非線形成分となる摩擦を回避することができるようになっている。

また、このエアパッド 96 の周囲には不図示の真空ポンプに接続された差動排気機構（真空排気機構）400 が設けられている。この差動排気機構 400 は、エアパッド 96 から噴き出された空気を差動排気することにより、エアパッド 96 から噴き出された気体が露光装置内雰囲気（例えばヘリウム雰囲気）の気体純度を汚染することを防止している。

なお、上記のシャフトモータ 92 は、駆動電流の位相を制御することにより、一種の磁気軸受けとしても機能するが、第 2 軸部材 80 に作用する重力の影響を考慮して、上記のエアパッド 96 が設けられている。従って、上記のエアパッドに代えて、軸受け装置として磁気軸受け装置を用いても良い。

なお、図 3 では図示が省略されているが、磁極ユニット 90 の電機子ユニット 88 に対する移動量を検出するホール素子を用いたリニアエンコーダ 95<sub>1</sub> が設けられており、このリニアエンコーダの出力は、主制御装置 50 に供給されるようになっている（図 8 参照）。

残りの第 1 のロッド 78<sub>2</sub>、78<sub>3</sub> も上述した第 1 のロッド 78<sub>1</sub> と同様に構成され、同様の第 1 の伸縮機構 94<sub>2</sub>、94<sub>3</sub>、リニアエンコーダ 95<sub>2</sub>、95<sub>3</sub>（図 8 参照）を有している。

また、前記第 2 の機構は、クリーンルームの床面 FD 上に設置された第 2 のベース部材 102 と、該第 2 のベース部材 102 とレチクルベース定盤 12 とをそれぞれ連結する 3 本の伸縮可能な第 2 のロッド 104<sub>1</sub>、104<sub>2</sub>、104<sub>3</sub> とを有している。第 2 のベース部材 102 は、図 2 に示されるように、土台部 102a と該土台部 102a の 3 箇所から上方に延設された同一高さの 3 つの延設部 102b とを有している。

第 2 のロッド 104<sub>1</sub>、104<sub>2</sub>、104<sub>3</sub> のそれぞれは、それぞれの軸方向に相対移動可能な第 1 軸部材 106 と第 2 軸部材 108 とを有しており、第 1 軸部材 106 の一端（下端）は、前記 3 つの延設部 102b の上端部近傍の所定高さ位置に、ボルト又はピンから成る支軸 110 を中心として起伏回動可能に取り付けられており、第 2 軸部材 108 の他端（上端）は、レチクルベース定盤 12 に上記と同様にして回動可能に取り付けられている。これら 3 本の第 2 のロッド 104<sub>1</sub>、104<sub>2</sub>、104<sub>3</sub> は、図 2 に示されるように、上方から見て前記各第 1 のロッド 78<sub>1</sub>、78<sub>2</sub>、78<sub>3</sub> にそれぞれ対向する位置に配置されている。

また、第2のロッド104<sub>1</sub>、104<sub>2</sub>、104<sub>3</sub>は、前述した第1のロッド78<sub>1</sub>の第1の伸縮機構94<sub>1</sub>と同様にして構成された第2の伸縮機構112<sub>1</sub>、112<sub>2</sub>、112<sub>3</sub>、リニアエンコーダ95<sub>4</sub>、95<sub>5</sub>、95<sub>6</sub>（図8参照）をそれぞれ備えている。また、これらの第2のロッド104<sub>1</sub>、104<sub>2</sub>、104<sub>3</sub>には、エアパッドも前述した第1のロッドと同様の目的で同様にして設けられている。

前記第3の機構は、クリーンルームの床面FD上に前述した3つの第1のベース部材76<sub>1</sub>、76<sub>2</sub>、76<sub>3</sub>の外側にそれぞれ配置された3つの第3のベース部材114<sub>1</sub>、114<sub>2</sub>、114<sub>3</sub>（図2参照）と、各第3のベース部材114<sub>1</sub>、114<sub>2</sub>、114<sub>3</sub>のそれぞれと投影光学系PLを収納する隔壁の外部に設けられた取付けステー116とを連結する3本の伸縮可能な第3のロッド118<sub>1</sub>、118<sub>2</sub>、118<sub>3</sub>とを有している。

これらの第3のロッド118<sub>1</sub>、118<sub>2</sub>、118<sub>3</sub>のそれぞれは、それぞれの軸方向に相対移動可能な第1軸部材120と第2軸部材122とを有しており、第1軸部材120の一端（下端）は、対応する第3のベース部材114にボルト又はピンから成る支軸124を中心として起伏回動可能に取り付けられており、第2軸部材122の他端（上端）は、前記取付けステー116に上記と同様にして回動可能に取り付けられている。

第3のロッド118<sub>1</sub>、118<sub>2</sub>、118<sub>3</sub>は、前述した第1のロッド78<sub>1</sub>の第1の伸縮機構94<sub>1</sub>と同様にして構成された第3の伸縮機構126<sub>1</sub>、126<sub>2</sub>、126<sub>3</sub>、リニアエンコーダ95<sub>7</sub>、95<sub>8</sub>、95<sub>9</sub>（図8参照）をそれぞれ備えている。また、これらの第3のロッド118<sub>1</sub>、118<sub>2</sub>、118<sub>3</sub>には、エアパッドも前述した第1のロッドと同様にして設けられている。

このようにして構成されたパラレルリンク機構を構成する各ロッドの伸縮機構94<sub>1</sub>～94<sub>3</sub>、112<sub>1</sub>～112<sub>3</sub>、126<sub>1</sub>～126<sub>3</sub>は、ステージ制御装置52を介して主制御装置50によって制御されるようになっている（図8参照）



。

本実施形態では、パラレルリンク機構 7 4 を構成する上記第 3 の機構は、例えば、露光装置 1 0 の工場内での組み立て完了直後の装置立ち上げ時の投影光学系 P L の位置・姿勢の初期設定の際に用いられる。すなわち、オペレータにより不図示の入出力装置を介して、初期設定に必要な情報が入力され、主制御装置 5 0 では、この入力された情報に基づいて第 3 の伸縮機構 1 2 6<sub>1</sub>、1 2 6<sub>2</sub>、1 2 6<sub>3</sub> をステージ制御装置 5 2 を介して制御することにより、第 3 のロッド 1 1 8<sub>1</sub>、1 1 8<sub>2</sub>、1 1 8<sub>3</sub> がそれぞれ伸縮され、投影光学系 P L が所望の Z 位置、姿勢に設定される。そして、その初期設定の終了後は、第 3 のロッド 1 1 8<sub>1</sub>、1 1 8<sub>2</sub>、1 1 8<sub>3</sub> はその調整後の状態に維持される。

但し、経時的なクリーンルーム床面の微小変形等に起因して投影光学系 P L の Z 位置、姿勢が初期の状態から変化すること考えられるので、上述した初期設定を所定のインターバル、あるいは必要に応じて行うようにしても良い。

次に、上記第 1、第 2、第 3 の機構と同様のロッドを 3 本有し、被駆動体（制御対象物）を駆動する駆動系における被駆動体の 3 自由度方向、すなわち  $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、Z 方向の位置・姿勢を制御する場合の原理について説明する。

かかる駆動系の構成要素として、図 4 に模式的に示されているように、静止部材 T と、被駆動体 S と、固定側部材 R M 1 及び可動側部材 R M 2 を含み、静止部材 T の 3 点 A<sub>i</sub> ( $i = 1 \sim 3$ ) と被駆動体 S の 3 点 B<sub>i</sub> ( $i = 1 \sim 3$ ) とを結ぶ伸縮可能なロッド R D<sub>i</sub> ( $i = 1 \sim 3$ ) とを想定する。ここで、3 点 A<sub>i</sub> ( $i = 1 \sim 3$ ) によって決定される面において、3 点 A<sub>i</sub> は正三角形の頂点に位置するように配置されており、その正三角形の中心を原点 O とし、その正三角形を含む平面が X Y 面となるように、静止座標系 X Y Z が定義される。また、3 点 B<sub>i</sub> ( $i = 1 \sim 3$ ) によって決定される面において、3 点 B<sub>i</sub> は正三角形の頂点に位置するように配置されており、その正三角形の中心を原点 P とし、その正三角形を含む平面が U V 面となるように、被駆動体座標系 U V W が定義さ

れる。なお、各ロッド  $RD_i$  の伸縮は、各ロッド  $RD_i$  の可動側部材  $RM_2$  が点  $A_i$  と点  $B_i$  とを結ぶ直線に沿って移動することによって生ずる仕組みとなっている。

本実施形態では、図4の駆動系において、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $Z$ 方向の位置・姿勢の制御は、図5にブロック図にて示される制御系によって、以下のようにして行われる。

まず、被駆動体  $S$  の3自由度方向  $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $Z$ に関する位置・姿勢 ( $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $Z$ ) 及び速度 ( $d\theta_x/dt$ 、 $d\theta_y/dt$ 、 $dZ/dt$ ) の現在値が位置・姿勢設定部306及び速度設定部304の初期値として設定されるとともに、所望の位置・姿勢の制御のための加速度 ( $d^2\theta_x/dt^2$ 、 $d^2\theta_y/dt^2$ 、 $d^2Z/dt^2$ ) の初期値が加速度設定部302に設定される。以後、新たな初期値設定があるまでは、加速度設定部302のみが独立して刻々更新される。これに対して、速度設定部304については、加速度設定部302の加速度値の積分値と初期値との和への設定値の更新がなされ、また、位置・姿勢設定部306については、速度設定部304の速度値の積分値と初期値との和への設定値の更新がなされる。

以上のようにして設定された、各時点における加速度設定部302の加速度設定値、速度設定部304の速度設定値、及び位置・姿勢設定部306の位置・姿勢設定値は、逆動力学解析部308に入力し、以下に詳述する逆動力学解析が行われる。そして、この解析結果に基づいて、逆動力学解析部308は各ロッド  $RD_i$  への推力指令値を決定する。

逆動力学解析部308においては、位置・姿勢、速度、及び加速度に関する運動学的解析が行われる。以下、これらを順に説明する。

以下の説明においては便宜上、各ベクトルを文章中では、ベクトル〇〇と表記するとともに、数式中ではベクトル記号「 $\rightarrow$ 」を〇〇の上に付して表記するものとする。

### 〈位置・姿勢の解析〉

位置・姿勢の解析では、位置・姿勢設定値 ( $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $Z$ ) に基づいて、各ロッド  $R D_i$  の長さ及び伸縮方向を求める。

このため、まず、 $UVW$ 座標系における点  $B_i$  ( $i = 1 \sim 3$ ) それぞれの位置ベクトル  $B b_i$  (それぞれ既知の一定ベクトル) の  $XYZ$  座標系におけるベクトル  $b_i$  を、次の式 (3) によって求める。

$$\overrightarrow{b_i} = \overrightarrow{ARB} \cdot \overrightarrow{Bb_i} \quad \dots(3)$$

ここで、 $ARB$  は、 $UVW$ 座標系から  $XYZ$  座標系への回転変換行列であり、位置・姿勢設定部 306 における姿勢設定値  $\theta_x$ 、 $\theta_y$  及び既知の  $\theta_z$  (一定値; 例えば 0) によって決まるものである。かかる回転変換行列  $ARB$  は周知のものであり、簡単に求めることができる。なお、姿勢設定値  $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$  に代えて、オイラー角を使用することも可能であり、かかる場合には後述する運動方程式の形式が簡単なものとなる。

次に、式 (3) によって求められたベクトル  $b_i$  を使って、次の式 (4) により、点  $A_i$  から点  $B_i$  へのベクトル  $r_i$  を求める。

$$\overrightarrow{r_i} = \overrightarrow{p} + \overrightarrow{b_i} - \overrightarrow{a_i} \quad \dots(4)$$

ここで、ベクトル  $p$  は、図 4 に示されるように、 $XYZ$  座標系の原点  $O$  から  $UVW$  座標系の原点  $P$  へのベクトルであり、 $XYZ$  座標系における、ベクトル  $p$  の  $Z$  成分は、位置・姿勢設定部 306 における位置設定値  $Z$  で定まり、また、 $X$  成分及び  $Y$  成分は既知 (一定値; 例えば点  $P$  が点  $O$  の真上にある場合には、双方が 0) のものである。また、ベクトル  $a_i$  は、 $XYZ$  座標系における点  $A_i$  の位置ベクトルであり、それぞれが既知の一定ベクトルである。

次いで、次の式 (5) 及び式 (6) により、各ロッド  $R D_i$  の長さ  $D_i$  及び  $XYZ$  座標系における各ロッド  $R D_i$  の伸縮方向の単位ベクトル  $s_i$  を求める。

$$D_i = |\overrightarrow{r_i}| \quad \dots(5)$$

$$\overrightarrow{s_i} = \overrightarrow{r_i} / D_i \quad \dots(6)$$

ところで、逆動力学解析部 308 において、最終的に決定するのは、各ロッド  $RD_i$  の伸縮方向の推力であり、また、ロッド  $RD_i$  の伸縮の結果としてロッド  $RD_i$  の回転が生じるので、ロッド  $RD_i$  の伸縮方向を座標軸の 1 つとし、ロッド  $RD_i$  の回転の表現が容易なロッド座標系を各ロッド  $RD_i$  ごとに適宜使用することが便宜である。そこで、本実施形態では、図 6 に示されるような  $X_i, Y_i, Z_i$  座標系を、各ロッド  $RD_i$  ごとのロッド座標系として、次のように定義している。

すなわち、 $X_i', Y_i', Z_i'$  座標系を、 $XYZ$  座標系と各軸が平行で、点  $A_i$  を原点とする座標系とし、 $Z_i'$  方向とロッド  $RD_i$  の伸縮方向との成す角度を  $\psi_i$  とし、 $Z_i'$  軸とロッド  $RD_i$  の伸縮方向軸とが張る平面と  $X_i', Y_i'$  面との交線と  $X_i'$  軸とのなす角度を  $\phi_i$  とする。そして、 $X_i', Y_i', Z_i'$  座標系を  $Z_i'$  軸回りに角度  $\phi_i$  だけ回転して  $X_i'', Y_i'', Z_i''$  座標系を得た後に、 $X_i'', Y_i'', Z_i''$  座標系を  $Y_i''$  軸回りに角度  $\psi_i$  だけ回転して得られる  $X_i, Y_i, Z_i$  座標系を、ロッド  $RD_i$  固有のロッド座標系としている。

ここで、角度  $\psi_i, \phi_i$  と上記の単位ベクトル  $s_i$  の  $XYZ$  座標系における各座標軸成分 ( $s_{ix}, s_{iy}, s_{iz}$ ) との間には、次の式 (7) ~ (10) の関係が成り立っている。

$$\cos \psi_i = s_{iz} \quad \dots (7)$$

$$\sin \psi_i = (s_{ix}^2 + s_{iy}^2)^{1/2} \quad \dots (8)$$

$$\sin \phi_i = s_{iy} / \sin \psi_i \quad \dots (9)$$

$$\cos \phi_i = s_{ix} / \sin \psi_i \quad \dots (10)$$

また、 $X_i, Y_i, Z_i$  座標系から  $XYZ$  座標系への回転変換行列  $AR_i$  は、次の式 (11) となる。

$$AR_i = \begin{pmatrix} \cos \phi_i \cdot \cos \psi_i & -\sin \phi_i & \cos \phi_i \cdot \sin \psi_i \\ \sin \phi_i \cdot \cos \psi_i & -\cos \phi_i & \sin \phi_i \cdot \sin \psi_i \\ -\sin \phi_i & 0 & \cos \psi_i \end{pmatrix} \quad \dots (11)$$

なお、回転変換行列  $A R_i$  はエルミート行列であり、回転変換行列  $A R_i$  による回転変換の逆変換である  $X Y Z$  座標系から  $X_i Y_i Z_i$  座標系への回転変換行列  ${}_i R A$  は、回転変換行列  $A R_i$  の転置行列となっている。

#### 〈速度の解析〉

速度の解析では、上記の位置・姿勢の解析結果及び速度設定値に基づいて、 $X Y Z$  座標系及び  $X_i Y_i Z_i$  座標系で見た、各ロッド  $R D_i$  の被駆動体接続点  $B_i$  における速度ベクトル、及び  $X_i Y_i Z_i$  座標系で見た各ロッド  $R D_i$  の角速度ベクトルを求める。

まず、 $X Y Z$  座標系で見た点  $B_i$  における速度ベクトル  $\overrightarrow{v b_i}$  を、次の式 (1 2) によって求める。

$$\overrightarrow{v b_i} = \overrightarrow{v_p} + \overrightarrow{\omega_p} \times \overrightarrow{b_i} \quad \dots (1 2)$$

ここで、ベクトル  $\overrightarrow{v_p}$  は、 $X Y Z$  座標系における被駆動体  $S$  の重心の速度ベクトルであり、被駆動体  $S$  は  $X$  方向及び  $Y$  方向には移動しないので、ベクトル  $\overrightarrow{v_p}$  の  $X$  成分及び  $Y$  成分は共に 0 であり、 $Z$  成分は速度設定部 3 0 4 における速度設定値  $d Z / d t$  である。また、 $\overrightarrow{\omega_p}$  は、 $X Y Z$  座標系における被駆動体  $S$  の角速度ベクトルであり、その  $X$  成分及び  $Y$  成分は速度設定部 3 0 4 における角速度設定値  $d \theta x / d t$  及び  $d \theta y / d t$  であり、また、被駆動体  $S$  は  $Z$  軸回りには回転しないので、 $Z$  成分は 0 である。なお、式 (1 2) 及び以下の式において、ベクトルとベクトルとの積演算表現において、「 $\times$ 」によって外積演算を、また、「 $\cdot$ 」によって内積演算を表すものとする。

次に、 $X_i Y_i Z_i$  座標系で見た点  $B_i$  における速度ベクトル  ${}_i \overrightarrow{v b_i}$  を、次の式 (1 3) によって求める。

$${}_i \overrightarrow{v b_i} = {}_i R A \cdot \overrightarrow{v b_i} \quad \dots (1 3)$$

ここで、ベクトル  ${}_i \overrightarrow{v b_i}$  の  $Z_i$  成分が、ロッド  $R D_i$  の伸縮速度  $V R_i$  である。

次いで、次の式 (1 4) によって、上述の単位ベクトル  $s_i$  を  $X_i Y_i Z_i$  座標

系における表現であるベクトル  ${}_i s_i$  に変換する。

$$\overline{{}_i s_i} = {}_i R A \cdot \overline{s_i} \quad \dots (14)$$

そして、 $X, Y, Z$  座標系で見た各ロッド  $R D_i$  の角速度ベクトル  ${}_i \omega_i$  を、次の式 (15) によって求める。

$$\overline{{}_i \omega_i} = (\overline{{}_i s_i} \times \overline{{}_i v b_i}) / D_i \quad \dots (15)$$

〈加速度の解析〉

加速度の解析では、上記の位置・姿勢の解析結果、速度の解析結果、及び加速度設定値に基づいて、各ロッド  $R D_i$  の被駆動体接続点  $B_i$  における加速度ベクトル及び角加速度ベクトルを求める。

まず、 $X, Y, Z$  座標系で見た点  $B$  における加速度ベクトルを、次の (16) 式によって求める。

$$\overline{a b_i} = \overline{\alpha_p} + \overline{\beta_p} \times \overline{b_i} + \overline{\omega_p} \times (\overline{\omega_p} \times \overline{b_i}) \quad \dots (16)$$

ここで、ベクトル  $\alpha_p$  は、 $X, Y, Z$  座標系における被駆動体  $S$  の重心の加速度ベクトルであり、被駆動体  $S$  は  $X$  方向及び  $Y$  方向には駆動されないで、ベクトル  $\alpha_p$  の  $X$  成分及び  $Y$  成分は共に 0 であり、 $Z$  成分は加速度設定部 302 における加速度設定値  $d^2 Z / d t^2$  である。また、ベクトル  $\beta_p$  は、 $X, Y, Z$  座標系における被駆動体  $S$  の角速度ベクトルであり、その  $X$  成分及び  $Y$  成分は加速度設定部 302 における角加速度設定値  $d^2 \theta_x / d t^2$  及び  $d^2 \theta_y / d t^2$  であり、また、被駆動体  $S$  は  $Z$  軸回りには駆動されないで、 $Z$  成分は 0 である。

次に、 $X, Y, Z$  座標系で見た点  $B_i$  における加速度ベクトル  ${}_i a b_i$  を、次の式 (17) によって求める。

$$\overline{{}_i a b_i} = {}_i R A \cdot \overline{a b_i} \quad \dots (17)$$

ここで、ベクトル  ${}_i a b_i$  の  $Z_i$  成分が、ロッド  $R D_i$  の伸縮加速度  $\alpha R_i$  である。

次いで、 $X, Y, Z$  座標系で見た点  $B_i$  の角加速度ベクトル  ${}_i \beta_i$  を、次の式 (

18) によって求める。

$$\overline{{}_i\beta_i} = (\overline{{}_is_i} \times \overline{{}_i\alpha b_i}) / D_i - 2VR_i \cdot \overline{{}_i\omega_i} / D_i \quad \dots(18)$$

ところで、各ロッド  $RD_i$  それぞれは、前述のように、固定側部材  $RM1$  と可動側部材  $RM2$  とから構成されている。かかる固定側部材  $RM1$  及び可動側部材  $RM2$  の構造が、図7に示されるものであるとする。すなわち、固定側部材  $RM1$  の質量は  $m1$  であり、可動側部材  $RM2$  の質量は  $m2$  であるとする。また、固定側部材  $RM1$  の重心は、点  $A_i$  から点  $B_i$  へ向かう方向に沿って点  $A_i$  から距離  $L1$  の位置にあり、可動側部材  $RM2$  の重心は、点  $B_i$  から点  $A_i$  へ向かう方向に沿って点  $B_i$  から距離  $L2$  の位置にあるとする。

このとき、 $X_i, Y_i, Z_i$  座標系で見た、固定側部材  $RM1$  の重心における加速度ベクトル  ${}_i\alpha 1$  及び可動側部材  $RM2$  の重心における加速度ベクトル  ${}_i\alpha 2$  を、次の式(19)及び式(20)によって求める。

$$\overline{{}_i\alpha 1} = L1 \cdot \overline{{}_i\beta_i} + L1 \cdot \overline{{}_i\omega_i} \times (\overline{{}_i\omega_i} \times \overline{{}_is_i}) \quad \dots(19)$$

$$\begin{aligned} \overline{{}_i\alpha 2} = & \alpha R_i \cdot \overline{{}_is_i} + (D_i - L2) \cdot \overline{{}_i\beta_i} \times \overline{{}_is_i} \\ & + (D_i - L2) \cdot \overline{{}_i\omega_i} \times (\overline{{}_i\omega_i} \times \overline{{}_is_i}) \\ & + 2VR_i \cdot \overline{{}_i\omega_i} \times \overline{{}_is_i} \quad \dots(20) \end{aligned}$$

以上のようにして、逆動力学的な位置・姿勢、速度・角速度、加速度・角加速度の解析が終了すると、図7に示されるように、被駆動体  $S$  とロッド  $RD_i$  とを点  $B_i$  において仮想的に切り離し、被駆動体系と開ループロッド系とに分解する。

そして、各ロッド  $RD_i$  をサブシステムとして考え、各ロッド  $RD_i$  の  $A_i$  回りの運動方程式をたてると、次の式(21)となる。

$$\overline{{}_in_iA} = d(\overline{{}_ih_iA}) / dt \quad \dots(21)$$

ここで、ベクトル  ${}_in_iA$  は、ロッド  $RD_i$  の  $A_i$  点回りのモーメントベクトルであり、ベクトル  ${}_ih_iA$  は、ロッド  $RD_i$  の  $A_i$  点回りの角運動量ベクトルである。

ところで、図 7 に示されるように、 $X_i Y_i Z_i$  座標系で見て、点  $A_i$  においてロッド  $R D_i$  に反力  ${}_i f a_i$  ( ${}_i f a_{xi}$ ,  ${}_i f a_{yi}$ ,  ${}_i f a_{zi}$ ) が発生し、点  $B_i$  においてロッド  $R D_i$  に働く反力  $\{-{}_i f b_i$  ( $-{}_i f b_{xi}$ ,  $-{}_i f b_{yi}$ ,  $-{}_i f b_{zi}$ ) $\}$  が発生し、また、被駆動体  $S$  の点  $B_i$  の対応点に反力  ${}_i f b_i$  が発生している。

点  $B_i$  及び被駆動体  $S$  の点  $B_i$  の対応点の反力の  $X_i$  軸成分及び  $Y_i$  軸成分に対応する値  ${}_i f b_{xi}$  及び値  ${}_i f b_{yi}$  は、被駆動体  $S$  の質量にかかわらず、上述の逆動力学的な位置・姿勢、速度・角速度、加速度・角加速度の解析結果、固定側部材  $R M 1$  の質量  $m 1$ 、可動側部材  $R M 2$  の質量  $m 2$ 、及び重力加速度によって求められる。また、 $Z_i$  軸成分に対応する値  ${}_i f b_{zi}$  は、以下に示される  $X Y Z$  座標系で見た被駆動体  $S$  の並進運動方程式である式 (2 2) と回転方程式である式 (2 3) とを連立させて解くことにより求められる。

$$\sum_{i=1}^3 (\overline{A f b_i}) + m_p \cdot \overline{g} = m_p \cdot \overline{\alpha_p} \quad \dots(2 2)$$

$$B n_p = \sum_{i=1}^3 (\overline{B b_i} \cdot \overline{B f b_i}) \quad \dots(2 3)$$

ここで、ベクトル  $A f b_i$  は、 $X Y Z$  座標系で見た被駆動体  $S$  の点  $B_i$  の対応点における反力ベクトルであり、次の式 (2 4) によって求められる。

$$\overline{A f b_i} = \overline{A R_i} \cdot \overline{{}_i f b_i} \quad \dots(2 4)$$

また、 $m_p$  は被駆動体  $S$  の質量であり、ベクトル  $g$  は重力加速度ベクトルである。

また、 $B n_p$  は  $U V W$  座標系で見た被駆動体  $S$  のモーメントである。更に、ベクトル  $B f b_i$  は  $U V W$  座標系で見た被駆動体  $S$  の点  $B_i$  の対応点における反力ベクトルであり、次の式 (2 5) によって求められる。

$$\begin{aligned} \overline{B f b_i} &= (\overline{A R B})^{-1} \cdot \overline{A f b_i} \\ &= (\overline{A R B})^{-1} \cdot \overline{A R_i} \cdot \overline{{}_i f b_i} \quad \dots(2 5) \end{aligned}$$

なお、式 (2 2) と式 (2 3) との連立方程式は 6 つの方程式を含んでいる



が、3つの値  ${}_i f b_{zi}$  ( $i = 1 \sim 3$ ) を求めるのにあたり、駆動が  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $z$  方向の3自由度方向について成されることを考慮して、式(24)の $z$ 成分に関する方程式及び式(25)の  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  成分に関する2つの方程式から成る3つの方程式を連立させることにする。

そして、逆動力学解析部308は、各ロッド  $RD_i$  の推力指令値  $\tau_i$  を、次の式(26)によって求める。

$$\begin{aligned} \tau_i = & {}_i f b_{zi} + m_2 \cdot g_c \cdot \cos \psi_i \\ & + m_2 \cdot {}_i \alpha_{2i} \end{aligned} \quad \dots (26)$$

ここで、 ${}_i f b_{zi}$  は、ベクトル  ${}_i f b_i$  の $z$ 成分であり、 $g_c$  は重力加速度の大きさ ( $9.8 \text{ m/s}^2$ ) である。

以上、ニュートン・オイラー法による各ロッド  $RD_i$  に対する推力指令値の算出を説明したが、 $d'Alembert$ 法により各ロッド  $RD_i$  に対する推力指令値を算出することも可能である。 $d'Alembert$ 法は、ニュートン・オイラー法における複数の数式をヤコビアン行列に集約し、また、ニュートン・オイラー法における拘束力やモーメントを、運動方程式から消去しているため、ニュートン・オイラー法よりも効率が良く、実用的に好ましい手法である。以下、 $d'Alembert$ 法について概説する。なお、特に示さない限り、符号はニュートン・オイラー法の場合と同様の意味を有する。

まず、ニュートン・オイラー法と同様にして、逆動力学的解析により、位置・姿勢、速度・角速度、及び加速度・角加速度の解析を行う。このとき、 $UVW$ 座標系から $XYZ$ 座標系への回転変換行列はオイラー角表現によって求める。また、角速度ベクトル  $\omega_p$  及び角加速度ベクトル  $\beta_p$  もオイラー角表現のものを求める。

次に、次の式(27)を満たす $XYZ$ 座標系に関するロッド  $RD_i$  のリンクヤコビアン行列  $Jb_i$  を求める。

$$\overline{vb_i} = Jb_i \cdot \overline{va_p} \quad \dots (27)$$

ここで、ベクトル  $v a_p$  は、 $X Y Z$  座標系における 6 自由度方向の速度ベクトルであり、上述の被駆動体  $S$  の重心の速度ベクトル  $v_p$  と、被駆動体  $S$  の角速度ベクトル  $\omega_p$  とを合せたものである。

リンクヤコビアン行列  $J b_i$  は、上述の式 (12) と同一の内容を有する式を用いて、位置・姿勢及び速度・角速度の逆動力学的解析の結果から求められる。

次に、次の式 (28) により、 $X_i Y_i Z_i$  座標系に関するロッド  $R D_i$  のリンクヤコビアン行列  ${}_i J b_i$  を求める。

$${}_i J b_i = {}_i R A \cdot J b_i \quad \dots (28)$$

このリンクヤコビアン行列  ${}_i J b_i$  を使用することにより、次の式 (29) により、 $X Y Z$  座標系における 6 自由度方向の速度ベクトル  $v a_p$  から  $X_i Y_i Z_i$  座標系で見た点  $B_i$  における速度ベクトル  ${}_i v b_i$  を直接的に求めることができる。

$$\overrightarrow{{}_i v b_i} = {}_i J b_i \cdot \overrightarrow{v a_p} \quad \dots (29)$$

次いで、次の式 (30) を満たす被駆動体ヤコビアン行列  $J P$  を求める。

$$\overrightarrow{V R_i} = J P \cdot \overrightarrow{v_p} \quad \dots (30)$$

被駆動体ヤコビアン行列  $J P$  は、ベクトル  ${}_i v b_i$  の  $Z_i$  成分が、ロッド  $R D_i$  の伸縮速度ベクトル  $V R_i$  であることから求められる。

ところで、重力が被駆動体  $S$  に作用することを考えると、被駆動体  $S$  の重心に働く付加力ベクトル  $f S_p$  及び慣性トルクベクトル  $t S_p$  は、 $X Y Z$  座標系で表した被駆動体  $S$  の重心周りでの慣性行列を  $A I_p$  として、次の式 (31) 及び式 (32) で求められる。

$$\overrightarrow{f S_p} = m_p \cdot \overrightarrow{g} - m_p \cdot \overrightarrow{\alpha_p} \quad \dots (31)$$

$$\overrightarrow{t S_p} = -A I_p \cdot \overrightarrow{\beta_p} - \overrightarrow{\omega_p} \times (A I_p \cdot \overrightarrow{\omega_p}) \quad \dots (32)$$

以下、付加力ベクトル  $f S_p$  と慣性トルクベクトル  $t S_p$  とを複合したベクトルを  $T_p$  と表す。

被駆動体 S の場合と同様に、 $X_i, Y_i, Z_i$  座標系における各ロッド  $R D_i$  を構成する固定側部材  $R M 1$  の重心に働く付加力ベクトルと慣性トルクベクトルとを複合したベクトル  $T 1_i$ 、及び、 $X_i, Y_i, Z_i$  座標系における各ロッド  $R D_i$  を構成する可動側部材  $R M 2$  の重心に働く付加力ベクトルと慣性トルクベクトルとを複合したベクトル  $T 2_i$  が求められる。

次に、ロッド  $R D_i$  の推力指令値  $\tau_i$  をパラメータとし、被駆動体ヤコビアン行列を使用して運動方程式を作成する。そして、運動方程式を解くことにより、ロッド  $R D_i$  の推力指令値  $\tau_i$  を求める。なお、推力指令値  $\tau_i$  は、運動方程式に例えばガウス消去法を適用することにより求めることができる。

したがって、推力指令値  $\tau_i$  は、被駆動体ヤコビアン行列の逆変換に依存することになる。このため逆変換にとっての特異点に接近すると、推力指令値  $\tau_i$  の算出値が不安定となるので、ロッド  $R D_i$  の伸縮量、並びに、その速度及び加速度を常にモニタする必要がある。

以上のようにして、逆動力学解析部 308 によって求められた各ロッド  $R D_i$  の推力指令値は、電圧変換部 310 において各ロッド  $R D_i$  に供給される電圧値に変換される。こうして変換された電圧は、電圧加算器 322 を介し、1 次遅れ部 312 を介した後、ロッド  $R D_i$  の電磁アクチエータ（図 3 におけるシャフトモータ 92 に対応）に供給される。そして、供給された電圧に応じてロッド  $R D_i$  が伸縮することにより、被駆動体 316（すなわち、上記の被駆動体 S（図 1 のウエハベース定盤 38 等に対応））が  $\theta x$ 、 $\theta y$ 、 $Z$  方向の 3 自由度方向に駆動される。

なお、時間遅れ部 312 及び被駆動体 316 における時間遅れを考慮して、位置・姿勢設定部 306 における位置・姿勢設定値とステージ系センサ 320（図 1 のフォーカスセンサ 73 に対応）による位置姿勢の実測値との差に応じた電圧を制御器 318 が発生して、電圧加算器 322 に供給することになっている。さらに、前述の時間遅れを考慮して、逆動力学解析部 308 で算出された

ロッド  $RD_i$  の長さ と ロッド系センサ 326（前述のリニアエンコーダ 95 に対応）によるロッド  $RD_i$  の長さの実測値との差に応じた電圧を制御器 324 が発生して、電圧加算器 322 に供給することになっている。こうした制御器 318、324 による補正電圧発生により、時間遅れ部 312 又は被駆動体 316 における、制御にあたっての時間遅れが補償されるようになっている。

図 8 には、露光装置 10 の制御系の構成が簡略化して示されている。この図 8 の制御系は、マイクロコンピュータ又はワークステーションからそれぞれ成る主制御装置 50 及びステージ制御装置 52 を中心として構成されている。なお、主制御装置 50 及びステージ制御装置 52 は、図 5 のブロック図における加速度設定部 302、速度設定部 304、位置・姿勢設定部 306、逆動力学解析部 308、電圧変換部 310、制御器 318、及び制御器 324 を内蔵しており、レチクルレーザ干渉計 24R、ウエハレーザ干渉計 24W、フォーカスセンサ 73、及びリニアエンコーダ 95 による検出結果に基づいて、上述の平行リンク機構による駆動制御原理を使用してレチクルベース定盤 12 及びウエハベース定盤 38 の駆動制御を行っている。

次に、上述のようにして構成された本実施形態の露光装置 10 における露光時の動作を、図 8 等を参照して説明する。

前提として、平行リンク機構 74 を構成する第 3 の機構を用いて前述した投影光学系 PL の初期設定が完了しているものとする。

まず、不図示のレチクル顕微鏡及び不図示のオフアクシス・アライメントセンサ等を用いたレチクルアライメント、ベースライン計測等の準備作業が行われ、その後、アライメントセンサを用いたウエハ W のファインアライメント（EGA（エンハンスト・グローバル・アライメント）等）が終了し、ウエハ W 上の複数のショット領域の配列座標が求められる。なお、上記のレチクルアライメント、ベースライン計測等の準備作業については、例えば特開平 4-324923 号公報及びこれに対応する米国特許第 5,243,195 号に詳細に

開示され、また、これに続くEGAについては、特開昭61-44429号公報及びこれに対応する米国特許第4,780,617号等に詳細に開示されており、本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記各公報並びにこれらに対応する上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。

次いで、ステージ制御装置52では、主制御装置50からの指示に応じ、レチクルレーザ干渉計 $24Ry_1$ 、 $24Ry_2$ 、 $24Rx$ の計測値をモニタしつつ、レチクル駆動装置14を介してレチクルステージRSTを移動して、レチクルRをY方向の走査開始点に設定する。同様に、ステージ制御装置52では、主制御装置50からの指示に応じ、ウエハレーザ干渉計 $24Wy_1$ 、 $24Wy_2$ 、 $24Wx$ の計測値をモニタしつつウエハ駆動装置40を介してウエハステージWSTを移動して、ウエハW上の対応する1つのショット領域をY方向の走査開始点に設定する。

そして、ステージ制御装置52では、レチクル駆動装置14、ウエハ駆動装置40をそれぞれ介してレチクルステージRSTとウエハステージWSTとを投影倍率に応じた速度比で互いに逆方向に同期移動させて走査露光を行う。

以上の動作によって、レチクルRの1スキャンによる露光（1ショット分の露光）が終了する。

次に、ステージ制御装置52では、主制御装置50からの指示に応じウエハステージWSTをX方向にショット領域の1列分だけステッピングさせ、今までと逆方向にウエハステージWSTとレチクルステージRSTとを走査して、ウエハW上の異なるショット領域に同様のスキャン露光を行う。

上記の走査露光中に、主制御装置50では、ステージ制御装置52からリアルタイムで通知されるウエハW上の露光領域内のフォーカス、レベリング計測結果に基づき上述の駆動制御原理を使用して、その露光領域が常に投影光学系PLの焦点深度の範囲内に合致するように、ステージ制御装置52及びバラレ

ルリンク機構 7 4 を構成する第 1 の伸縮機構  $9 4_1 \sim 9 4_3$  をそれぞれ介して第 1 のロッド  $7 8_1 \sim 7 8_3$  を伸縮制御して、ウエハベース定盤 3 8 を介してウエハステージ W S T の Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$  の 3 自由度方向の位置・姿勢を制御する。すなわち、このようにして、主制御装置 5 0 では投影光学系 P L とウエハ W (ウエハステージ W S T) との Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$  の 3 自由度方向の相対位置の調整、すなわちフォーカス・レベリング制御を高精度に行い、デフォーカスに起因するパターン転写像の劣化を極力防止するようになっている。

また、上記の走査露光中に、主制御装置 5 0 ではレチクルステージ R S T の Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$  方向の位置・姿勢を常に所望の状態に維持すべく、ステージ制御装置 5 2 からリアルタイムで通知されるレチクルベース定盤 1 2 の位置・姿勢の検出情報に基づき上述の駆動制御原理を使用して、ステージ制御装置 5 2 及びパラレルリンク機構 7 4 を構成する第 2 の伸縮機構  $1 1 2_1 \sim 1 1 2_3$  をフィードバック制御し、第 2 のロッド  $1 0 4_1 \sim 1 0 4_3$  を伸縮制御して、レチクルベース定盤 1 2 の Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$  の 3 自由度方向の位置・姿勢を制御する。すなわち、このようにして主制御装置 5 0 では、投影光学系 P L に対するレチクルステージ R S T (レチクル R) との Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$  方向の相対位置を調整している。これにより、レチクルステージ R S T の移動に起因して偏荷重がレチクルベース定盤 1 2 に作用しても、それに起因してパターン転写像の転写位置ずれや像ボケ等が発生するのが効果的に抑制されるようになっている。

以上詳細に説明したように、本実施形態の露光装置 1 0 によると、主制御装置 5 0 によって制御されるパラレルリンク機構 7 4 の第 1 の機構を構成する伸縮可能な第 1 のロッド  $7 8_1 \sim 7 8_3$  により、ウエハベース定盤 3 8 の Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$  方向の位置・姿勢を制御することができ、これにより、ウエハベース定盤 1 2 上に浮上支持されたウエハステージ W S T の Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$  方向の位置・姿勢の制御を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。すなわち、露光装置 1 0 では、ウエハステージ W S T 上に Z・チルト駆動機構を設

けることなく、伸縮可能な第1のロッド $78_1 \sim 78_3$ により、ウエハステージWST上に保持されたウエハWのZ・チルト駆動、ひいてはウエハWの投影光学系PLに対するZ、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向の相対位置の制御、すなわちフォーカス・レベリング制御を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。この場合、ウエハベース定盤38は、3本の第1のロッド $78_1 \sim 78_3$ によって投影光学系PLとは独立して支持されているので、ウエハステージWSTの駆動の際にその駆動力の反力に起因してウエハベース定盤38が振動しても、その振動が投影光学系PLの振動要因となることが殆どない。また、この場合、Z・チルト駆動機構が不要となる分、ウエハステージWSTの軽量化が可能となり、ウエハステージWSTを平面モータから成るウエハ駆動装置40によりウエハベース定盤38上で駆動する際の駆動力及び駆動反力を低減することができる。

また、本実施形態の露光装置10では、露光本体部は、主制御装置50によって制御されるパラレルリンク機構74の第2の機構を構成する伸縮可能な第2のロッド $104_1 \sim 104_3$ により、レチクルベース定盤12のZ、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向の位置・姿勢を制御することができ、これにより、レチクルベース定盤12上に浮上支持されたレチクルステージRSTのZ、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向の位置・姿勢の制御を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。すなわち、露光装置10では、レチクルステージRSTとレチクルベース定盤12との間、あるいはレチクルステージRST上にZ・チルト駆動機構を設けることなく、伸縮可能な第2のロッド $104_1 \sim 104_3$ により、レチクルステージRST上に保持されたレチクルRのZ・チルト駆動、ひいてはレチクルRの投影光学系PLに対するZ、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向の相対位置の制御、すなわちフォーカス・レベリング制御を動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。これにより、レチクルステージRSTの駆動の際にレチクルベース定盤12に作用する偏荷重等によって生じるレチクルRのデフォーカスに起因するパ

ターン像の劣化を防止することが可能となる。この場合、レチクルベース定盤 12 は、3 本の第 2 のロッド 104<sub>1</sub>~104<sub>3</sub> によって投影光学系 PL とは独立して支持されているので、レチクルステージ WST の駆動の際にその駆動力の反力に起因してレチクルベース定盤 38 が振動しても、その振動が投影光学系 PL の振動要因となることが殆どない。また、この場合、Z・チルト駆動機構が不要となる分、レチクルステージ RST の軽量化が可能となり、レチクルステージ RST をリニアモータ等から成るレチクル駆動装置 14 によってレチクルベース定盤 12 上で駆動する際の駆動力及び駆動反力を低減することができる。

また、この場合、ウエハステージ WST 及びレチクルステージ RST と、投影光学系 PL との分離を容易に行うことができ、メンテナンス作業が容易になる。

また、本実施形態では、投影光学系 PL に固定されたフォーカスセンサ 73 とウエハレーザ干渉計 24W とによって、ウエハ W と投影光学系 PL との 6 自由度方向の相対位置を検出する位置検出装置が構成されている。本実施形態では、前述の如く、ウエハステージ WST 及びレチクルステージ RST の駆動反力が投影光学系 PL に伝達されるのが防止されているので、投影光学系 PL に固定された位置検出装置（フォーカスセンサ 73、ウエハレーザ干渉計 24W）によって投影光学系 PL とウエハ W との相対位置関係を精度良く検出することが可能になる。

また、レチクルステージ RST 上に設けられた移動鏡 22R に測長ビームを照射しレチクルステージ RST の X、Y、 $\theta_z$  方向の位置を検出する干渉計 24Ry<sub>1</sub>、24Ry<sub>2</sub>、24Rx と、レチクルベース定盤 12 に固定されたミラー 28 に測長ビームを照射しレチクルベース定盤 12 の Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  方向の位置を検出する第 1~第 3 の干渉計 30<sub>1</sub>~30<sub>3</sub> とによって、レチクルステージ RST と投影光学系 PL との 6 自由度方向の相対位置を検出する位置検出装



置が構成されている。この場合、ウエハステージWST及びレチクルステージRSTの駆動反力が投影光学系PLに伝達されるのが防止されているので、投影光学系PLに固定された位置検出装置（干渉計24Ry<sub>1</sub>、24Ry<sub>2</sub>、24Rx、30<sub>1</sub>～30<sub>3</sub>）によって投影光学系PLとレチクルステージRSTの相対位置関係を精度良く検出することが可能になる。

また、本実施形態の露光装置10では、第1のロッド78<sub>1</sub>～78<sub>3</sub>、第2のロッド104<sub>1</sub>～104<sub>3</sub>にそれぞれ設けられる前記第1の伸縮機構94<sub>1</sub>～94<sub>3</sub>、第2の伸縮機構112<sub>1</sub>～112<sub>3</sub>が、相互に直列（又は並列）に配置されたエアシリンダ84と電磁力ニアモータの一種であるシャフトモータ92とを有していることから、主制御装置50ではエアシリンダ84の空圧制御により、ウエハベース定盤38、レチクルベース定盤12を、粗く大きく駆動するとともに、シャフトモータ92により細かく微動させることができる。この結果、短時間で正確なウエハステージ及びレチクルステージのZ、 $\theta x$ 、 $\theta y$ 方向の位置・姿勢の制御、ひいてはレチクルR及びウエハWの投影光学系PLに対するZ、 $\theta x$ 、 $\theta y$ 方向の相対位置の調整、すなわちフォーカス・レベリング動作を短時間で正確に行うことが可能になる。

また、第1のロッド78<sub>1</sub>～78<sub>3</sub>、第2のロッド104<sub>1</sub>～104<sub>3</sub>のそれぞれは、シャフトモータ92の可動子である磁極ユニット90を固定子である電機子ユニット88に対して非接触で支持するエアパッド96を有しているので、第1、第2の伸縮機構によるロッドの伸縮を制御する際の非線形成分となる摩擦を回避することができ、これにより、ウエハベース定盤38、レチクルベース定盤12をそれぞれ介してウエハステージWST、レチクルステージRSTのZ、 $\theta x$ 、 $\theta y$ 方向の位置・姿勢の制御を一層高精度に行うことができる。

また、本実施形態の露光装置10では、第1の伸縮機構94<sub>1</sub>～94<sub>3</sub>、第2の伸縮機構112<sub>1</sub>～112<sub>3</sub>、及び第3の伸縮機構126<sub>1</sub>～126<sub>3</sub>を構成す

る電磁力リニアモータとしてシャフトモータ 92 が用いられ、該シャフトモータ 92 では可動子側に円筒状の磁石が用いられた磁極ユニット 90 が用いられているので、その磁石の放射方向の全方向に磁束（磁界）が発生し、その全方向の磁束を、電磁相互作用によるローレンツ力（駆動力）の発生に寄与させることができ、例えば通常のリニアモータ等に比較して明らかに大きな推力を発生させることができ、油圧シリンダ等に比べて小型化が容易である。

従って、各ロッドがシャフトモータ 92 をそれぞれ含むパラレルリンク機構 74 によれば、小型・軽量化と出力の向上とを同時に実現でき、露光装置 10 に好適に適用できる。

また、本実施形態の露光装置 10 では、主制御装置 50 は、第 1、第 2 の伸縮機構をそれぞれ構成するエアシリンダ 84 を用いてウエハベース定盤 38、レチクルベース定盤 12 の少なくとも一方と投影光学系 PL との相対位置の調整を静的に行うとともに、シャフトモータ 92 を用いて振動の制振を行うようにすることができる。このようにすると、ウエハベース定盤 38 及びレチクルベース定盤 12 の少なくとも一方を介しての両ステージ WST、WST の少なくとも一方と投影光学系 PL との相対位置の調整に加え、各ロッドの伸縮駆動に伴って生じる振動及び各ステージの駆動により生じる反力によってウエハベース定盤 38、レチクルベース定盤 12 に生じる振動を制振することが可能になる。

また、主制御装置 50 では、第 1、第 2 の伸縮機構をそれぞれ構成するエアシリンダ 84 の空圧を制御することにより低周波振動を制振するとともにシャフトモータ 92 に対する電流制御により高周波振動を絶縁するようにすることができる。このようにすると、各ステージの駆動により生じる反力によってウエハベース定盤 38、レチクルベース定盤 12 に生じる低周波振動を制振することができるとともに、高周波振動である床面からの微振動を絶縁することができる。

さらに、本実施形態の露光装置 10 では、レチクルステージ R S T を収納するとともにレチクルベース定盤 12 を一部とするレチクル室 18 と、投影光学系 P L を収納するレンズ室 32 と、ウエハステージ W S T を収納するとともにウエハベース定盤 38 を一部とするウエハ室 44 と、レチクル室 18 とレンズ室 32、及びレンズ室 32 とウエハ室 44 とをそれぞれ連結する伸縮自在の蛇腹状部材 34、36 とを有し、ウエハステージ W S T、投影光学系 P L、及びレチクルステージ R S T を外気と隔離するチャンバ 46 を備えている。このため、パラレルリンク機構 74 によりウエハベース定盤 38、レチクルベース定盤 12 の Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  方向の位置・姿勢の調整を支障無く行うことができる。また、チャンバ 46 によりウエハステージ W S T、投影光学系 P L、及びレチクルステージ R S T が外気と隔離されている。従って、チャンバ 46 内に窒素ガス ( $N_2$ )、ヘリウムガス (He) 等を充填することにより、ArF エキシマレーザ光あるいはそれより短波長の  $F_2$  レーザ光等の真空紫外光を用いてレチクル R の微細パターンを高解像度でウエハ W 上に転写することが可能になる。

本実施形態の露光装置 10 では、上述したような数々の工夫により、ウエハステージ W S T、レチクルステージ R S T の軽量化及び位置制御性の向上が可能で、装置振動の制振性・床振動絶縁性に優れ、各ステージの調整自由度が高く、独立分離可能でかつ、He 雰囲気等の特殊雰囲気での  $F_2$  レーザ光あるいはこれより短波長なエネルギービームを用いた高解像力な露光が可能となり、線幅の小さい高集積度な半導体デバイスを歩留まり良く製造することが可能になる。

なお、上記実施形態では、パラレルリンク機構の第 3 機構を構成する伸縮可能な 3 本の第 3 のロッド 118<sub>1</sub>~118<sub>3</sub> によって投影光学系 P L が支持された場合について説明したが、これは第 3 のロッド 118<sub>1</sub>~118<sub>3</sub> をそれぞれ伸縮させる第 3 の伸縮機構 126<sub>1</sub>~126<sub>3</sub> を個別に制御することにより、投

影光学系 P L の初期調整簡単に行うことができることからこのようにしたものである。しかしながら、投影光学系 P L は、本来的に一旦その位置・姿勢を所望の状態に設定すれば、その後はその位置・姿勢を変更する必要のないものであるから、前記の第 3 の機構に代えて、投影光学系 P L を、床面 F D 上で固定支持する支持機構を設けても良い。このようにしても、ウエハステージ W S T 及びレチクルステージ R S T がともに Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$  方向で位置・姿勢を制御可能なので、ウエハ W 及びレチクル R のそれぞれと投影光学系 P L との Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$  方向の相対位置関係を調整できる。

また、上記実施形態では、第 3 の伸縮機構 1 2 6<sub>1</sub>～1 2 6<sub>3</sub> もエアシリンダとシャフトモータとを有するものとしたが、第 3 の伸縮機構はエアシリンダのみを有していても良い。かかる場合にも、上記の投影光学系 P L の初期位置、姿勢の調整をエアシリンダの内部圧力の調整により容易に行うことができる。

また、上記実施形態では、投影光学系 P L として、両側テレセントリックな光学系を用いるものとしたが、本発明がこれに限定されないことは勿論である。例えば、投影光学系として物体面側が非テレセントリックな光学系を用いても良い。かかる物体面側が非テレセントリックな光学系の場合、レチクル R のデフォーカスがパターン像の転写位置ずれの要因となるが、本実施形態では前述の如く、レチクル R の Z、 $\theta x$ 、 $\theta y$  方向の位置制御が行われるので、レチクル R のデフォーカスに起因するパターン像の転写位置ずれも防止することができる。

なお、上記実施形態では、第 1 のベース部材 7 6<sub>1</sub>、7 6<sub>2</sub>、7 6<sub>3</sub>、第 2 のベース部材 1 0 2、第 3 のベース部材 1 1 4<sub>1</sub>、1 1 4<sub>2</sub>、1 1 4<sub>3</sub> をそれぞれ別部材で構成する場合について説明したが、第 1 のベース部材、第 3 のベース部材の少なくとも一方を単一の部材で構成したり、あるいは第 1、第 2 及び第 3 のベース部材の内、任意の少なくとも 2 つを同一部材によって構成しても良い。すなわち、第 1、第 2 及び第 3 のベース部材の全てが同一部材であっても良

く、第１、第２のベース部材、第２、第３のベース部材、あるいは第１、第３のベース部材が同一部材であっても良い。

さらに、上記実施形態では、ウエハベース定盤３８、レチクルベース定盤１２にいずれにもステージが１つ搭載された場合について説明したが、これに限らず、ウエハベース定盤３８、レチクルベース定盤１２の少なくとも一方にステージが複数搭載されていても良い。例えば、ウエハベース定盤３８上にウエハステージＷＳＴが複数搭載されている場合には、１つのウエハステージ上のウエハに対する露光中に、他のウエハステージ上でウエハ交換、ウエハ上のアライメントマークの検出等の他の動作を並行して行うことができ、単一のウエハステージを有する場合に比べて、スループットの向上が可能である。また、例えば、レチクルベース定盤１２上にレチクルステージＲＳＴが複数搭載されている場合には、それら複数のレチクルステージの位置を入れ替えるだけで、レチクル交換が可能になるので、複数のレチクルを用いた２重露光等の多重露光を、スループットを向上して行なうことが可能になる。特に、ウエハステージＷＳＴとレチクルステージＷＳＴとをともに複数設ける場合には、１つのウエハステージ上のウエハに対する多重露光中に他のウエハステージ上でウエハ交換、ウエハ上のアライメントマークの検出等の他の動作を並行して行うことができ、複数のレチクルを用いた２重露光等の多重露光を高スループットで実現することができる。

また、上記実施形態では、ウエハステージ定盤３８、レチクルベース定盤１２がともに、それぞれパラレルリンク機構７４の第１の機構、第２の機構で姿勢制御可能に支持された場合について説明したが、本発明がこれに限定されないことは勿論である。すなわち、ウエハステージ定盤３８、レチクルベース定盤１２の一方のみをパラレルリンク機構を用いて支持しても良い。かかる場合であっても、パラレルリンク機構により支持された、該パラレルリンク機構のエンドエフェクタとなる定盤に前述と同様の位置・姿勢制御が可能となり、こ

の結果前述したような数々の効果を得ることができる。

また、上記実施形態で説明したチャンバ46の構成も一例に過ぎず、本発明がこれに限定されないことは勿論である。すなわち、本発明に係る露光装置では、パラレルリンク機構により支持された露光本体部（レチクルステージRST、投影光学系PL、ウエハステージWST等）の少なくとも一部を外気と隔離した状態で収納するとともにその姿勢の変化を許容するものであれば、如何なるチャンバを備えていても良い。かかる場合には、パラレルリンク機構により支持された露光本体部の一部を、パラレルリンク機構の利点を利用して、軽量化することができ、かつ動作特性良く、高い剛性で、精度良く姿勢制御を行うことが可能になる。また、チャンバにより、その露光本体部の少なくとも一部をその姿勢の変化を許容して外気と隔離した状態で収納するので、そのチャンバ内に窒素ガス（ $N_2$ ）、ヘリウムガス（He）等を充填することにより、ArFエキシマレーザ光あるいはそれより短波長の $F_2$ レーザ光等の真空紫外光を用いた微細パターンを高解像度で基板上に転写することが可能になる。

また、上記実施形態では、照明光学系IOPの少なくとも一部を、パラレルリンク機構により支持するようにしても良い。

#### 《第2の実施形態》

次に、本発明の第2の実施形態を図9～図17に基づいて説明する。ここで、前述した第1の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともにその説明を簡略にし、若しくは省略するものとする。

また、前述の第1の実施形態と本第2の実施形態とは適宜組み合わせて用いることができる。

図9には、第2の実施形態に係る露光装置130の概略構成が示されている。この露光装置130は、露光用照明光ELをマスクとしてのレチクルRに照射した状態で、レチクルRと基板としてのウエハWとを所定の走査方向（ここでは、図9における紙面直交方向であるY軸方向とする）に同期移動しつつ、

レチクルRのパターンを投影光学系PLを介してウエハW上の複数のショット領域に転写するステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置、すなわちいわゆるスキャニング・ステッパである。

この露光装置130は、マスクステージとしてのレチクルステージRST、基板ステージとしてのウエハステージWSTとして平面視略三角形形状のステージが用いられ、これらのステージが、ともに、X、Y、Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ の6自由度方向についてパラレルリンク機構によって位置・姿勢制御が行われる点に特徴を有する。

この露光装置130は、照明光学系IOPと、レチクルRを保持するレチクルステージRST、投影光学系PL、ウエハWを保持するウエハステージWST、ウエハステージWSTをエンドエフェクタとして有する第1のパラレルリンク機構132、レチクルステージRSTをエンドエフェクタとして有する第2のパラレルリンク機構134等を備えている。

第1のパラレルリンク機構132は、図10に示されるように、クリーンルームの床面FD上にほぼ水平に設置された平面視正六角形状の第1のベース部材136と、該第1のベース部材136とウエハステージWSTとを連結する6本の伸縮可能な第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>と、第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>にそれぞれ設けられ当該各第1のロッドを伸縮させる第1の伸縮機構194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub>（図9では図示せず、図17参照）とを有している。

第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>としては、前述した第1の実施形態で説明した第1のロッド78<sub>1</sub>と同様にそれぞれの軸方向に相対移動可能な第1軸部材と第2軸部材とを有するものが用いられている。そして、各第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を構成する第1軸部材と第2軸部材がエアシリンダとシャフトモータとから成る前述した第1の伸縮機構94<sub>1</sub>と同様の第1の伸縮機構194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub>によって相対駆動されるようになっている。また、第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>のそれぞれには、それぞれの第1の伸縮機構194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub>

を構成するシャフトモータの磁極ユニットの電機子ユニットに対する移動量を検出するホール素子を用いたリニアエンコーダ $95_1 \sim 95_6$ （図17参照）及び磁極ユニットを電機子ユニットに対して非接触で浮上支持するエアパッドが設けられている。

この場合、図10から明らかなように、ロッド $178_1 \sim 178_6$ のそれぞれは、両端がユニバーサルジョイント $138$ を介して、第1のベース部材 $136$ とウエハステージ $WST$ とにそれぞれ接続されている。また、ロッド $178_1$ 、 $178_2$ は、ウエハステージ $WST$ の三角形の1つの頂点位置の近傍に接続され、第1のベース部材 $136$ とこれらのロッド $178_1$ 、 $178_2$ とによって概略三角形が構成されるような配置となっている。同様に、ロッド $178_3$ 、 $178_4$ 、及びロッド $178_5$ 、 $178_6$ は、ウエハステージ $WST$ の三角形の残りの各頂点位置の近傍にそれぞれ接続され、第1のベース部材 $136$ と、ロッド $178_3$ 、 $178_4$ 、及びロッド $178_5$ 、 $178_6$ とによって、それぞれ概略三角形が構成されるような配置となっている。

リニアエンコーダ $95_1 \sim 95_6$ の出力は主制御装置 $50$ に供給されるようになっており、これらのリニアエンコーダ $95_1 \sim 95_6$ の出力に基づいて、第1の伸縮機構 $194_1 \sim 194_6$ が、主制御装置 $50$ により、ステージ制御装置 $52$ を介して制御されるようになっている（図17参照）。

図9に戻り、前記投影光学系 $PL$ は、床面 $FD$ 上に植設された4本の支柱 $140$ 及び各支柱 $140$ の上部に載置された防振ユニット $142$ （但し、紙面奥側の支柱及び防振ユニットは図示省略）を介してほぼ水平に支持された鏡筒定盤 $144$ に保持されている。

鏡筒定盤 $144$ は、例えば鋳物等で構成されており、その中央部に平面視円形の開口が形成され、その内部に投影光学系 $PL$ がその光軸方向を $Z$ 軸方向として上方から挿入されている。投影光学系 $PL$ の鏡筒部の外周部には、該鏡筒部に一体化されたフランジ $FLG$ が設けられている。このフランジ $FLG$ の素



材としては、低熱膨張の材質、例えばインバー（Inver；ニッケル36%、マンガン0.25%、及び微量の炭素と他の元素を含む鉄からなる低膨張の合金）が用いられており、このフランジFLGは、投影光学系PLを鏡筒定盤144に対して点と面とV溝とを介して3点で支持するいわゆるキネマティック支持マウントを構成している。このようなキネマティック支持構造を採用すると、投影光学系PLの鏡筒定盤144に対する組み付けが容易で、しかも組み付け後の鏡筒定盤144及び投影光学系PLの振動、温度変化、姿勢変化等に起因する応力を最も効果的に軽減できるという利点がある。

この場合、防振ユニット142によって、床面から鏡筒定盤144側へ伝達される微振動がマイクロGレベルで絶縁されるようになっている。本実施形態では、支柱140、防振ユニット142及び鏡筒定盤144によって、投影光学系PLを、露光本体部が設置される床面FD上で固定支持する支持機構が構成されている。

前記ウエハステージWSTの上面には、ウエハWが吸着保持されており、このウエハステージWSTのXY面内の位置は、図11に示される3つの干渉計 $24Wx_1$ 、 $24Wx_2$ 、 $24Wy$ から成るウエハレーザ干渉計システムによって0.5~1nmの分解能で検出されている。

これを更に詳述すると、干渉計 $24Wx_1$ は、前述した鏡筒定盤144に吊り下げ状態で固定されており、Y軸に対して所定角度 $\theta_1$ （ $\theta_1$ はここでは $+60^\circ$ ）傾斜した方向の測長ビームWIX1、WIX3をウエハステージWSTの側面に形成された第1反射面146aに対して垂直に照射する。測長ビームWIX1は、投影光学系PLの光軸に向かって照射される。この測長ビームWIX1に対応する参照ビームが照射される固定鏡Mw1は、投影光学系PLの側面に固定されている（図9参照）。また、測長ビームWIX3は、オフアキシス・アライメント検出系ALGの検出中心に向かって照射される。この測長ビームWIX3に対応する参照ビームが照射される不図示の固定鏡は、アラ

イメント検出系 A L G の側面に固定されている。

また、干渉計  $24Wx_2$  は、鏡筒定盤 144 に吊り下げ状態で固定されており、Y 軸に対して所定角度  $\theta_2$  ( $\theta_2$  はここでは  $-60^\circ$ ) 傾斜した方向の測長ビーム  $W1X2$ 、 $W1X4$  をウエハステージ W S T の側面に形成された第 3 反射面 146 c に対して垂直に照射する。測長ビーム  $W1X2$  の光路の延長線は、投影光学系 P L の光軸上で測長ビーム  $W1X1$  の露光の延長線と交差する。この測長ビーム  $W1X2$  に対応する参照ビームが照射される固定鏡 M w2 は、投影光学系 P L の側面に固定されている (図 9 参照)。また、測長ビーム  $W1X4$  の光路の延長線は、オフアキシス・アライメント検出系 A L G の検出中心で測長ビーム  $W1X3$  の光路の延長線と交差する。この測長ビーム  $W1X4$  に対応する参照ビームが照射される不図示の固定鏡は、アライメント検出系 A L G の側面に固定されている。

また、干渉計  $24Wy$  は、鏡筒定盤 144 に吊り下げ状態で固定されており、ウエハステージ W S T の第 2 反射面 146 b に垂直に Y 軸方向の測長ビーム  $W1Y1$ 、 $W1Y2$  を照射する。これらの測長ビーム  $W1Y1$ 、 $W1Y2$  は、投影光学系 P L の光軸及びアライメント検出系 A L G の検出中心を結ぶ Y 軸に関して左右対称の光路を通る。これらの測長ビーム  $W1Y1$ 、 $W1Y2$  に対応する参照ビームが照射される不図示の固定鏡は、投影光学系 P L の側面に固定されている。

上記 3 つの干渉計  $24Wx_1$ 、 $24Wx_2$ 、 $24Wy$  の計測値は、ステージ制御装置 52 及びこれを介して主制御装置 50 に供給されるようになっている (図 17 参照)。ステージ制御装置 52 では、干渉計  $24Wy$  の測長ビーム  $W1Y1$ 、 $W1Y2$  による計測値の平均値に基づいてウエハステージ W S T の Y 位置を算出し、両計測値の差と測長軸間距離とに基づいてウエハステージ W S T の  $\theta_z$  回転 (ヨーイング量) を算出する。

また、ステージ制御装置 52 では、干渉計  $24Wx_1$  の計測値  $X1$  及び干渉

計 2 4 W x<sub>2</sub> の計測値 X<sub>2</sub> に基づいて、次式 (3 3) により、ウエハステージ W S T の X 位置を算出する。

$$X = \{(X_1 / |\sin \theta_1|) - (X_2 / |\sin \theta_2|)\} / 2 \quad \dots (3 3)$$

この場合、 $|\sin \theta_1| = |\sin \theta_2| = \sin \theta$  とおけるので、

$$X = (X_1 - X_2) / (2 \sin \theta) \quad \dots (3 3')$$

によりウエハステージ W S T の X 座標位置を求めることができる。

但し、いわゆるアッペ誤差が生じないようにすることが重要であるから、ステージ制御装置 5 2 では、露光時には干渉計 2 4 W x<sub>1</sub>、2 4 W x<sub>2</sub> から投影光学系 P L の光軸に向けて照射される測長ビーム W I X 1、W I X 2 による計測値を用いて、上式 (3 3') によりウエハステージ W S T の X 位置を算出し、アライメント時には干渉計 2 4 W x<sub>1</sub>、2 4 W x<sub>2</sub> からアライメント光学系 A L G の検出中心に向けて照射される測長ビーム W I X 3、W I X 4 による計測値を用いて、上式 (3 3') によりウエハステージ W S T の X 位置を算出するようになっている。

このようにして算出されるウエハステージ W S T の X、Y、 $\theta_z$  方向の位置情報は、ステージ制御装置 5 2 からリアルタイムで主制御装置 5 0 に通知される。

なお、本実施形態において、ウエハステージ W S T の微小なヨーイング ( $\theta_z$  回転) が露光精度に悪影響を与えないように、各測長ビームに対応する測長軸の干渉計をいわゆるダブルパス構成にし、また、干渉計測長軸とウエハ W 表面との高さの相違に起因するいわゆるアッペ誤差を補償することが望ましい。例えば、測長ビーム W I X 1、W I X 2、及び W I Y 1 (又は W I Y 2) の下方又は上方に別の測長ビームを照射して、ウエハステージ W S T のピッチング、ローリングを計測し、これに基づいて、上で算出されるウエハステージ W S T の X Y 位置情報を補正することが望ましい。

ウエハステージW S Tの上面には、図11に示されるように、アライメント検出系のベースライン計測用の基準マーク他、種々の基準マークが形成された基準マーク板F Mが設けられている。

図9に戻り、第2の平行リンク機構134は、クリーンルーム床面F D上に設けられた一対の鉛直部材148A、148Bと、これらの鉛直部材148A、148Bによってほぼ水平に支持された水平板150とから成る門形フレーム152上に設置されている。水平板150には、ほぼ中央部に所定形状の開口が形成されている。

第2の平行リンク機構134は、前述した第1の平行リンク機構132と同様にして構成されている。すなわち、この第2の平行リンク機構134は、門形フレーム152の上に載置され、中央部に前記水平板150の開口とほぼ重なる開口が形成された平面視正六角形状の第2のベース部材154と、該第2のベース部材154とレチクルステージR S Tとを両端のユニバーサルジョイントをそれぞれ介して連結する6本の伸縮可能な第2のロッド179<sub>1</sub>～179<sub>6</sub>と、各第2のロッドに設けられ当該各第2のロッドを伸縮させる第2の伸縮機構195<sub>1</sub>～195<sub>6</sub>（図9では図示せず、図17参照）とを有している。第2のロッド179<sub>1</sub>～179<sub>6</sub>としては、前述した第1のロッド78<sub>1</sub>と同様の構成のものが用いられ、第2の伸縮機構195<sub>1</sub>～195<sub>6</sub>としては、前述した第1の伸縮機構94<sub>1</sub>と同様の構成のものが用いられている。第2のロッド179<sub>1</sub>～179<sub>6</sub>のそれぞれには、それぞれの第2の伸縮機構195<sub>1</sub>～195<sub>6</sub>を構成するシャフトモータの磁極ユニットの電機子ユニットに対する移動量を検出するホール素子を用いたリニアエンコーダ95<sub>7</sub>～95<sub>12</sub>及び磁極ユニットを電機子ユニットに対して非接触で浮上支持するエアパッドが設けられている。

リニアエンコーダ95<sub>7</sub>～95<sub>12</sub>の出力は主制御装置50に供給されるようになっており、これらのリニアエンコーダ95<sub>7</sub>～95<sub>12</sub>の出力に基づいて、

第2の伸縮機構 $195_1 \sim 195_6$ が、主制御装置50により、ステージ制御装置52を介して制御されるようになっている（図17参照）。

前記レチクルステージRSTのXY面内の位置は、門形フレーム152の水平板150に固定された3つの干渉計 $24R_{x_1}$ 、 $24R_{x_2}$ 、 $24R_y$ （但し、図9においては紙面奥側の干渉計 $24R_y$ は図示せず、図17参照）によって投影光学系PLの鏡筒の側面に固定された固定鏡 $Mr_1$ 、 $Mr_2$ 、 $Mr_3$ （但し、紙面奥側の固定鏡 $Mr_3$ は図示せず）を基準として、例えば0.5～1nmの分解能で検出されるようになっている。また、これらの干渉計 $24R_{x_1}$ 、 $24R_{x_2}$ 、 $24R_y$ の計測値に基づいて、前述と同様にして、ステージ制御装置52によってレチクルステージRSTのX、Y、 $\theta_z$ 位置が算出され、その算出されたレチクルステージRSTのX、Y、 $\theta_z$ 方向の位置情報は、ステージ制御装置52からリアルタイムで主制御装置50に通知される。

前記アライメント検出系ALGとしては、例えば、ブロードバンド光をウエハW上のアライメントマーク（又は基準マーク板FM）に照射し、その反射光を受光して画像処理方式によりマーク検出を行う結像式アライメントセンサが用いられる。かかる結像式アライメントセンサについては、例えば特開平7-321030号公報及びこれに対応する米国特許第5,721,605号などに詳細に開示されており、本国際出願で指定した指定国又は選択した選択国の国内法令が許す限りにおいて、上記公報及びこれに対応する上記米国特許における開示を援用して本明細書の記載の一部とする。アライメント検出系ALGの計測値は、主制御装置50に供給されるようになっている（図17参照）。

なお、アライメント検出系ALGとしてレーザ光をウエハ上の格子マークに2方向から照射して該格子マークから発生する回折光同士を干渉させ、その干渉光の位相に基づいて格子マークの位置を検出するLIA（Laser Interferometric Alignment）方式のアライメントセンサなどを用いても良い。

更に、投影光学系 P L の側面には、フォーカスセンサ 7 3 ( 7 3 a 、 7 3 b ) が設けられおり、このフォーカスセンサ 7 3 の出力は、ステージ制御装置 5 2 に供給されるようになっており、ステージ制御装置 5 2 では、このフォーカスセンサ 7 3 の出力に基づいて、投影光学系 P L に対するウエハ W の Z 、  $\theta x$  、  $\theta y$  方向の相対位置、具体的には、ウエハ W 表面の前記露光領域内の Z 位置 (デフォーカス量) 及び  $\theta x$  回転 (ピッチング量) 及び  $\theta y$  回転 (ローリング量) を算出する。この算出結果であるウエハ W の露光領域内のフォーカス・レベリング計測結果は、主制御装置 5 0 にリアルタイムで通知される。

また、図 9 においては、図示が省略されているが、投影光学系 P L を基準とするレチクル R のパターン面の Z 位置を検出する上記フォーカスセンサ 7 3 と同様の多点焦点位置検出系から成るフォーカスセンサ 1 7 3 (図 1 7 参照) がレチクルステージ R S T の近傍に設けられており、このフォーカスセンサ 1 7 3 の出力は、ステージ制御装置 5 2 に供給されるようになっており、ステージ制御装置 5 2 では、このフォーカスセンサ 1 7 3 の出力に基づいて、投影光学系 P L に対するレチクル R の Z 、  $\theta x$  、  $\theta y$  方向の相対位置、具体的には、レチクル R のパターン面の Z 位置 (デフォーカス量) 及び  $\theta x$  回転 (ピッチング量) 及び  $\theta y$  回転 (ローリング量) を算出する。この算出結果であるレチクル R のフォーカス・レベリング計測結果は、主制御装置 5 0 にリアルタイムで通知される。

次に、本実施形態の平行リンク機構と同様にロッドを 6 本有し、被駆動体を駆動する駆動系における 6 自由度方向 ( X , Y , Z ,  $\theta x$  ,  $\theta y$  ,  $\theta z$  ) の位置・姿勢を制御する場合の原理について説明する。

かかる駆動系の構成要素として、図 1 2 に模式的に示されているように、静止部材 T と、被駆動体 S と、固定側部材 R M 1 及び可動側部材 R M 2 を含み、静止部材 T の 6 点  $A_i$  (  $i = 1 \sim 6$  ) と被駆動体 S の 6 点  $B_i$  (  $i = 1 \sim 6$  ) とを結ぶ伸縮可能なロッド R D<sub>i</sub> (  $i = 1 \sim 6$  ) とを想定する。ここで、6 点  $A_i$

( $i = 1 \sim 6$ ) は同一平面上にあり、それらの中心を原点  $O$  とし、6 点  $A_i$  を含む平面が  $XY$  面となるように、静止座標系  $XYZ$  が定義される。また、6 点  $B_i$  ( $i = 1 \sim 6$ ) は同一平面上にあり、それらの中心を原点  $P$  とし、6 点  $B_i$  を含む平面が  $UV$  面となるように、被駆動体座標系  $UVW$  が定義される。なお、各ロッド  $RD_i$  の伸縮は、各ロッド  $RD_i$  の可動側部材  $RM2$  が点  $A_i$  と点  $B_i$  とを結ぶ直線に沿って移動することによって生ずる仕組みとなっている。

本実施形態では、図 12 の駆動系において、 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $\theta x$ 、 $\theta y$ 、 $\theta z$  方向の位置・姿勢の制御は、前述の図 5 におけるブロック図を、3 自由度方向から 6 自由度方向に拡張した制御系によって行われる。

すなわち、被駆動体  $S$  の 6 自由度方向  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $\theta x$ 、 $\theta y$ 、 $\theta z$  に関する位置・姿勢 ( $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $\theta x$ 、 $\theta y$ 、 $\theta z$ ) 及び速度 ( $dX/dt$ 、 $dY/dt$ 、 $dZ/dt$ 、 $d\theta x/dt$ 、 $d\theta y/dt$ 、 $d\theta z/dt$ ) の現在値が位置・姿勢設定部 306 及び速度設定部 304 の初期値として設定されるとともに、所望の位置・姿勢の制御のための加速度 ( $d^2X/dt^2$ 、 $d^2Y/dt^2$ 、 $d^2Z/dt^2$ 、 $d^2\theta x/dt^2$ 、 $d^2\theta y/dt^2$ 、 $d^2\theta z/dt^2$ ) の初期値が加速度設定部 302 に設定される。以後、新たな初期値設定があるまでは、加速度設定部 302 のみが独立して刻々更新される。これに対して、速度設定部 304 については、加速度設定部 302 の加速度値の積分値と初期値との和への設定値の更新がなされ、また、位置・姿勢設定部 306 については、速度設定部 304 の速度値の積分値と初期値との和への設定値の更新がなされる。

以上のようにして設定された、各時点における加速度設定部 302 の加速度設定値、速度設定部 304 の速度設定値、及び位置・姿勢設定部 306 の位置・姿勢設定値は、逆動力学解析部 308 に入力し、前述した 3 自由度の場合と同様にして、逆動力学的解析が行われる。そして、この解析結果に基づいて、逆動力学解析部 308 は各ロッド  $RD_i$  への推力値を決定する。以後、前述した 3 自由度の場合と同様にして、被駆動体  $S$  の 6 自由度方向の位置・姿勢の駆

動制御が行われる。

次に、上記の第1の平行リンク機構132による、ウエハステージWSTの6自由度方向の位置・姿勢制御の様子について、図13～図16に基づいて説明する。

主制御装置50では、例えば、第1の伸縮機構194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub>を介して第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を伸縮制御し、該ロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を図13中に実線で示される状態から仮想線（二点鎖線）で示される状態に変化させることにより、ウエハステージWSTを距離L1だけ非走査方向であるX軸方向に移動させることができる。これと同様にして、第1の伸縮機構194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub>を介して第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を適宜伸縮制御することにより、ウエハステージWSTを走査方向であるY軸方向に移動させることができる。

また、主制御装置50では、例えば、第1の伸縮機構194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub>を介して第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を伸縮制御し、該ロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を図14中に実線で示される状態から仮想線で示される状態に変化させることにより、ウエハステージWSTをZ軸方向上方に距離L2だけ移動させることができる。なお、実際には、Z軸方向の移動ストロークは、例えば100μm程度であるので、ウエハステージWSTの上下動により干渉計測長ビームが反射面から外れるおそれはない。

また、主制御装置50では、例えば、第1の伸縮機構194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub>を介して第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を伸縮制御し、該ロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を図15中に実線で示される状態から仮想線で示される状態に変化させることにより、ウエハステージWSTをその重心を通るY軸回りに微小角度φ<sub>1</sub>だけ回転させることができ、これによりウエハステージWSTのθ<sub>y</sub>回転（ローリング量）の調整が可能となる。これと同様にして、第1の伸縮機構194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub>を介して第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を適宜伸縮制御することによ



り、ウエハステージW S Tの $\theta_x$ 回転（ピッチング量）の調整が可能となる。

また、主制御装置50では、例えば、第1の伸縮機構194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub>を介して第1のロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を伸縮制御し、該ロッド178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub>を図16中に実線で示される状態から仮想線で示される状態に変化させることにより、ウエハステージW S Tをその重心を通るZ軸回りに微小角度 $\phi_2$ だけ回転させることができ、これによりウエハステージW S Tの $\theta_z$ 回転（ヨーイング量）の調整が可能となる。

このように、本実施形態では、第1の平行リンク機構132により、ウエハステージW S Tの6自由度方向の位置・姿勢制御が可能な構成となっている。

上記と同様に、主制御装置50では、第2の伸縮機構195<sub>1</sub>～195<sub>6</sub>を介して第2の平行リンク機構134の6本の第2のロッド179<sub>1</sub>～179<sub>6</sub>を適宜伸縮させることにより、レチクルステージR S Tの6自由度方向の位置・姿勢制御を行うことができる。

図17には、露光装置130の制御系の構成が簡略化して示されている。この図17の制御系は、マイクロコンピュータ又はワークステーションからそれぞれ成る主制御装置50及びステージ制御装置52を中心として構成されている。

次に、上述のようにして構成された本実施形態の露光装置130における露光時の動作を、図17等を参照して説明する。

まず、前述した第1の実施形態と同様に、不図示のレチクル顕微鏡及びアライメント検出系A L G及び基準マーク板F M等を用いたレチクルアライメント、ベースライン計測等の準備作業が行われ、その後、アライメント検出系A L Gを用いたウエハWのファインアライメント（E G A（エンハンスト・グローバル・アライメント）等）が終了し、ウエハW上の複数のショット領域の配列座標が求められる。かかる準備作業中のウエハステージW S Tの移動は、上述

の駆動原理を使用して、主制御装置 50 によりステージ制御装置 52 を介して第 1 の平行リンク機構 132 を構成する第 1 の伸縮機構 194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub> を制御することにより行われる。

次いで、主制御装置 50 では、ステージ制御装置 52 からリアルタイムで供給されるレチクルステージ RST の X、Y、 $\theta$  z 方向の位置情報に基づいて上述の駆動原理を使用して、ステージ制御装置 52 を介して第 2 の平行リンク機構 134 を構成する第 2 の伸縮機構 195<sub>1</sub>～195<sub>6</sub> に対し前述した位置制御を行い、第 2 のロッド 179<sub>1</sub>～179<sub>6</sub> を伸縮制御してレチクルステージ RST を移動し、レチクル R を Y 方向の走査開始点に設定する。同様に、主制御装置 50 では、ステージ制御装置 52 からリアルタイムで供給されるウエハステージ WST の X、Y、 $\theta$  z 方向の位置情報に基づいて上述の駆動原理を使用して、ステージ制御装置 52 を介して第 1 の平行リンク機構 132 を構成する第 1 の伸縮機構 194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub> に対し前述した位置制御を行い、第 1 のロッド 178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub> を伸縮制御してウエハステージ WST を移動し、ウエハ W 上の対応する 1 つのショット領域を Y 方向の走査開始点に設定する。

そして、主制御装置 50 では、ステージ制御装置 52 からリアルタイムで供給されるレチクルステージ RST、ウエハステージ WST の X、Y、 $\theta$  z 方向の位置情報に基づいて上述の駆動原理を使用して、第 1、第 2 の平行リンク機構 132、134 を制御して、レチクルステージ RST とウエハステージ WST とを投影倍率に応じた速度比で互いに逆方向に同期移動させて走査露光を行う。

この走査露光に際して、主制御装置 50 では、第 1、第 2 の平行リンク機構 132、134 をそれぞれ構成する各 6 本の第 1 のロッド 178、第 2 のロッド 179 の速度制御を行うが、この速度制御は、前述した駆動原理に基づく各ステージの位置制御により、結果的に行われるようになっている。

以上の動作によって、レチクル R の 1 スキャンによる露光（1 ショット分の

露光)が終了する。

次に、ステージ制御装置 52 では、主制御装置 50 からの指示に応じウエハステージ W S T を X 方向にショット領域の一行分だけステッピングさせ、今までと逆方向にウエハステージ W S T とレチクルステージ R S T とを走査して、ウエハ W 上の異なるショット領域に同様のスキャン露光を行う。

上記の走査露光中に、主制御装置 50 では、ステージ制御装置 52 からリアルタイムで通知されるウエハ W 上の露光領域内のフォーカス、レベリング計測結果に基づき、その露光領域が常に投影光学系 P L の焦点深度の範囲内に合致するようなウエハステージ W S T の Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  を算出し、その位置・姿勢とするための加速度を算出してステージ制御装置 52 に与える。これにより、その加速度に基づいてステージ制御装置 52 によりパラレルリンク機構 132 を構成する第 1 の伸縮機構 194<sub>1</sub>～194<sub>6</sub> が制御され、第 1 のロッド 178<sub>1</sub>～178<sub>6</sub> が伸縮制御されて、ウエハステージ W S T の Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  の 3 自由度方向の位置・姿勢が X、Y、 $\theta_z$  方向の位置と同時に制御される。すなわち、このようにして、投影光学系 P L とウエハ W (ウエハステージ W S T) との Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  の 3 自由度方向の相対位置の調整、すなわちフォーカス・レベリング制御が高精度に行われ、デフォーカスに起因するパターン転写像の劣化を極力防止するようになっている。

また、上記の走査露光中に、主制御装置 50 ではレチクルステージ R S T の Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  方向の位置・姿勢を常に所望の状態に維持すべく、ステージ制御装置 52 からリアルタイムで通知されるレチクルステージ R S T の位置・姿勢の検出情報に基づき、レチクルステージ R S T の Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  を算出し、その位置・姿勢とするための加速度を算出してステージ制御装置 52 に与える。その加速度に基づいてステージ制御装置 52 によりパラレルリンク機構 134 を構成する第 2 の伸縮機構 195<sub>1</sub>～195<sub>6</sub> が制御され、第 2 のロッド 179<sub>1</sub>～179<sub>6</sub> が伸縮制御されて、レチクルステージ W S T の Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  の

3自由度方向の位置・姿勢が $X$ 、 $Y$ 、 $\theta_z$ 方向の位置と同時に制御される。すなわち、このようにして投影光学系 $PL$ に対するレチクルステージ $RST$ （レチクル $R$ ）の $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向の相対位置が調整される。これにより、レチクル $R$ のデフォーカス等に起因するパターン転写像の転写位置ずれや像ボケ等が発生するのが効果的に抑制されるようになっている。

以上説明したように、本第2の実施形態の露光装置130によると、主制御装置50によりステージ制御装置52を介して制御される第1の平行リンク機構132を構成する第1の伸縮機構 $194_1 \sim 194_6$ により第1のロッド $178_1 \sim 178_6$ を独立して伸縮させることにより、ウエハステージ $WST$ の6自由度方向（ $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ 方向）の位置・姿勢制御を、動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。この場合、ウエハステージ $WST$ を第1の平行リンク機構132により駆動するので、ウエハステージ $WST$ を駆動するリニアモータ等の駆動装置やウエハステージ $WST$ を支持するステージベース（ウエハベース定盤）等が不要となる。また、ウエハステージ $WST$ 上に $Z$ ・チルト駆動機構等を設ける必要もなく、その分ウエハステージ $WST$ の小型・軽量化が可能である。

また、本実施形態の露光装置130によると、主制御装置50によりステージ制御装置52を介して制御される第2の平行リンク機構134を構成する第2の伸縮機構 $195_1 \sim 195_6$ により第2のロッド $179_1 \sim 179_6$ を独立して伸縮させることにより、レチクルステージ $RST$ の6自由度方向（ $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 、 $\theta_z$ 方向）の位置・姿勢制御、動作特性良く、高い剛性で、精度良く行うことができる。この場合、レチクルステージ $RST$ を平行リンク機構134により駆動するので、レチクルステージ $RST$ を駆動するリニアモータ等の駆動装置やレチクルステージ $RST$ を支持するステージベース（レチクルベース定盤）等が不要となる。また、レチクルステージ $RST$ 上に $Z$ ・チルト駆動機構等を設ける必要もなく、その分レチクルステージ $RST$

の小型・軽量化が可能である。

また、本実施形態の露光装置 130 では、投影光学系 PL が、支持機構 (140、142、144) によって該露光装置 130 が設置される床面 FD 上で固定支持されていることから、予め初期調整の段階で投影光学系 PL を所望の位置に所望の姿勢となるように調整し、その状態で支持機構により固定支持させ、上記のウエハステージ WST、レチクルステージ WST の 6 自由度方向の位置・姿勢制御を行うことにより、結果的に、ウエハステージ WST (ウエハ W) の投影光学系 PL に対する 6 自由度方向の相対位置の制御、及びレチクルステージ RST (レチクル R) の投影光学系 PL に対する相対位置の制御を行なうことができる。また、ウエハ W の 6 自由度方向の位置・姿勢は、ウエハステージ WST、レチクルステージ WST に対して振動に関して独立した鏡筒定盤 144 又は投影光学系 PL に固定支持されたウエハレーザ干渉計システム (24W<sub>x1</sub>、24W<sub>x2</sub>、24W<sub>y</sub>) 及びフォーカスセンサ 73 によって、前記投影光学系 PL を基準として計測されるので、高精度な計測が可能である。

また、本実施形態では、第 1 の伸縮機構 194<sub>1</sub>~194<sub>6</sub>、及び第 2 の伸縮機構 195<sub>1</sub>~195<sub>6</sub> は、相互に直列に配置されたエアシリンダとシャフトモータとを有することから、エアシリンダの空圧制御によりウエハステージ WST 及びレチクルステージ RST を粗く大きく駆動するとともに、シャフトモータにより細かく微動させることができ、ウエハステージ WST 及びレチクルステージ RST の 6 自由度方向の位置・姿勢の制御、及び両ステージと投影光学系 PL との相対位置の調整を短時間に正確に行うことが可能になる。

また、本実施形態では、前述した第 1 の実施形態と同様に、第 1 のロッド 178<sub>1</sub>~178<sub>6</sub>、第 2 のロッド 179<sub>1</sub>~179<sub>6</sub> は、シャフトモータの可動子を固定子に対して非接触で支持するエアパッドを有していることから、第 1 のロッド 178<sub>1</sub>~178<sub>6</sub>、第 2 のロッド 179<sub>1</sub>~179<sub>6</sub> の伸縮を伸縮機構を用いて制御する際の非線形成分となる摩擦を回避することができ、これにより

一層高精度なウエハステージWST及びレチクルステージRSTの6自由度方向の位置・姿勢の制御が可能になる。勿論、この場合も、前記エアパッドに代えて磁気軸受け装置を用いても良い。

また、本実施形態の露光装置130では、前述した第1の実施形態と同様に、例えば通常のリニアモータ等に比較して明らかに大きな推力を発生させることができ、油圧シリンダ等に比べて小型化が容易である。また、各ロッドがシャフトモータをそれぞれ含むパラレルリンク機構132、134では、小型・軽量化と出力の向上とを同時に実現でき、露光装置130に好適に適用できる。

また、本実施形態の露光装置130では、主制御装置50は、第1、第2の伸縮機構をそれぞれ構成するエアシリンダを用いてウエハステージWST、レチクルステージRSTの少なくとも一方と投影光学系PLとの相対位置の調整を静的に行うとともに、シャフトモータを用いて振動の制振を行うようにすることができる。このようにすると、両ステージWST、RSTの少なくとも一方と投影光学系PLとの相対位置の調整に加え、各ロッドの伸縮駆動に伴って生じる振動を制振することが可能になる。

また、主制御装置50では、第1、第2の伸縮機構をそれぞれ構成するエアシリンダの空圧を制御することにより低周波振動を制振するとともにシャフトモータに対する電流制御により高周波振動を絶縁するようにすることができる。このようにすると、各ステージの駆動により生じる反力によってウエハベース定盤38、レチクルベース定盤12に生じる低周波振動を制振することができるとともに、高周波振動である床面からの微振動を絶縁することができる。

また、主制御装置50では、シャフトモータの電流制御により高周波振動を絶縁するようにすることができる。このようにする場合には、高周波振動である床面からの微振動を絶縁することができる。

本実施形態の露光装置130では、上述したような数々の工夫により、ウエ

ハステージWST、レチクルステージRSTの軽量化及び位置制御性の向上が可能でかつ装置振動の制振性・床振動絶縁性に優れ、線幅の小さい高集積度な半導体デバイスを歩留まり良く製造することが可能になる。また、本実施形態の場合も、He雰囲気等の特殊雰囲気中におけば、F<sub>2</sub>レーザ光あるいはこれより短波長なエネルギービームを用いた高解像力な露光が可能となる。

なお、上記第2の実施形態では、ウエハステージWST、レチクルステージRSTの双方の6自由度方向の位置・姿勢制御をパラレルリンク機構を用いて行う場合について説明したが、本発明がこれに限定されないことは勿論である。例えば、ウエハステージWST、レチクルステージRSTの一方についてのみ、パラレルリンク機構により6自由度方向の位置・姿勢制御を行うようにし、残りの一方については、従来と同様に、リニアモータ、平面モータ等を用いてX、Y、 $\theta_z$ 方向に駆動し、ステージ上に設けられたZ・レベリング機構によりウエハ又はレチクルのZ、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向の姿勢制御を行うようにしても良い。

あるいは、ウエハステージWST、レチクルステージRSTの少なくとも一方について少なくとも3自由度方向、例えばX、Y、 $\theta_z$ 方向の位置制御を3本の伸縮可能なロッドを有するパラレルリンク機構を用いて行うようにしても良い。この場合には、ウエハステージWST、レチクルステージRSTの少なくとも一方を駆動するリニアモータ等の駆動装置やそのステージを支持するステージベース等が不要となる。但し、ウエハ及びレチクルについて6自由度方向の位置・姿勢制御を行うには、上記少なくとも一方のステージ上に搭載されるウエハ及びレチクルの少なくとも一方を残りの3自由度方向（例えば、Z、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$ 方向）に駆動する機構（例えばZ・チルト駆動機構）等を設ける必要がある。

なお、上記第2実施形態では、投影光学系PLが支持機構（140、142、144）によって床面FD上で固定支持される場合について説明したが、こ

れに限らず、前述した第1の実施形態と同様に、少なくとも3本の伸縮自在のロッドを備えるパラレルリンク機構によって支持するようにしても良い。このようにすると、投影光学系PLの初期調整に際して、各ロッドに設けられた伸縮機構を独立に制御することにより、簡単に初期調整ができ、その初期調整の完了後は、各伸縮機構により各ロッドの長さを維持すれば、投影光学系を所望の位置に所望の姿勢となるように固定した状態で支持することができ、その後は各ステージ側の位置・姿勢を制御することにより、各ステージと投影光学系との少なくとも3自由度方向の相対位置を調整するようにすれば良い。この場合の伸縮機構は、前述した各伸縮機構と同様に、エアシリンダを有していることが望ましい。かかる場合には、上記の投影光学系の初期位置、姿勢の調整をエアシリンダの内部圧力の調整により容易に行うことができる。

また、上記第2の実施形態では、ウエハステージWSTの位置・姿勢を制御する第1のリンク機構132のベース部材136と、レチクルステージRSTの位置・姿勢を制御する第2のリンク機構134のベース部材154とが別部材である場合について説明したが、これらのベース部材を同一の部材により構成しても良い。この場合において、投影光学系PLをリンク機構により支持する場合には、そのリンク機構のベース部材と、ベース部材136及びベース部材154の少なくとも一方とを同一の部材により構成しても良い。

なお、上記第1、第2の実施形態で説明したパラレルリンク機構は、一例であって、本発明に係る露光装置に適用できるパラレルリンク機構がこれに限定されないことは勿論である。

以上説明した、上記各実施形態の露光装置は、本願の請求の範囲(claims)に挙げられた各構成要素(elements)を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度



を達成するための調整、各種電気系については電氣的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることは言うまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

なお、上記各実施形態では、本発明がステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に適用された場合について説明したが、本発明の適用範囲がこれに限定されることはなく、静止露光型、例えばステップ・アンド・リピート方式の露光装置（ステッパなど）にも好適に適用できるものである。更にはステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置、ミラープロジェクション・アライナーなどにも適用できる。

なお、上記各実施形態では、露光用照明光としては、例えば、波長約120nm～約180nmの真空紫外域に属する光、F<sub>2</sub>レーザ光、Kr<sub>2</sub>レーザ光、Ar<sub>2</sub>レーザ光、ArFエキシマレーザ光等を用いる場合について説明したが、これに限らず、例えば超高压水銀ランプからの紫外域の輝線（g線、i線等）、KrFエキシマレーザ光、あるいは銅蒸気レーザやYAGレーザの高調波等を使用しても良い。

また、真空紫外光としてArFエキシマレーザ光やF<sub>2</sub>レーザ光などが用いられるが、DFB半導体レーザ又はファイバーレーザから発振される赤外域、又は可視域の単一波長レーザ光を、例えばエルビウム（又はエルビウムとイットリビウムの両方）がドーピングされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換した高調波を用いても良い。

例えば、単一波長レーザの発振波長を1.51～1.59μmの範囲内とす

ると、発生波長が189～199 nmの範囲内である8倍高調波、又は発生波長が151～159 nmの範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を1.544～1.553  $\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が193～194 nmの範囲内の8倍高調波、即ちArFエキシマレーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られ、発振波長を1.57～1.58  $\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が157～158 nmの範囲内の10倍高調波、即ちF<sub>2</sub>レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。

また、発振波長を1.03～1.12  $\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が147～160 nmの範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を1.099～1.106  $\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が157～158  $\mu\text{m}$ の範囲内の7倍高調波、即ちF<sub>2</sub>レーザ光とほぼ同一波長となる紫外光が得られる。この場合、単一波長発振レーザとしては例えばイットリビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いることができる。

この他、波長5～50 nmのEUV (Extreme Ultraviolet) 光を露光用照明光として用いる走査型露光装置にも本発明は適用することは可能である。かかるEUV光を露光用照明光とする露光装置では、オール反射の光学系及び反射型レチクルが用いられる。

さらに、本発明は、上記各実施形態で説明したような光露光装置に限らず、電子線等の荷電粒子線露光装置にも適用できる。

また、半導体素子などのマイクロデバイスだけでなく、光露光装置、EUV露光装置、X線露光装置、及び電子線露光装置などで使用されるレチクル又はマスクを製造するために、ガラス基板又はシリコンウエハなどに回路パターンを転写する露光装置にも本発明を適用できる。ここで、DUV (遠紫外) 光やVUV (真空紫外) 光などを用いる露光装置では一般的に透過型レチクルが用いられ、レチクル基板としては石英ガラス、フッ素がドープされた石英ガラス、ホタル石、フッ化マグネシウム、又は水晶などが用いられる。また、プロキ

シミティ方式のX線露光装置、又は電子線露光装置などでは透過型マスク（ステンシルマスク、メンブレンマスク）が用いられ、マスク基板としてはシリコンウエハなどが用いられる。

勿論、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。

さらに、本発明に係るパラレルリンク機構は、露光装置に限らず、小型・軽量化と出力の向上が期待され、被駆動体の位置・姿勢制御を精度良く行う必要がある装置であれば、いかなる装置であっても好適に適用できる。

#### 《デバイス製造方法》

次に、上述した露光装置をリソグラフィ工程で使用したデバイスの製造方法の実施形態について説明する。

図18には、デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等）の製造例のフローチャートが示されている。図18に示されるように、まず、ステップ201（設計ステップ）において、デバイスの機能・性能設計（例えば、半導体デバイスの回路設計等）を行い、その機能を実現するためのパターン設計を行う。引き続き、ステップ202（マスク製作ステップ）において、設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。一方、ステップ203（ウエハ製造ステップ）において、シリコン等の材料を用いてウエハを製造する。

次に、ステップ204（ウエハ処理ステップ）において、ステップ201～ステップ203で用意したマスクとウエハを使用して、後述するように、リソグラフィ技術等によってウエハ上に実際の回路等を形成する。次いで、ステップ205（デバイス組立ステップ）において、ステップ204で処理されたウ

エハを用いてデバイス組立を行う。このステップ205には、ダイシング工程、ボンディング工程、及びパッケージング工程（チップ封入）等の工程が必要に応じて含まれる。

最後に、ステップ206（検査ステップ）において、ステップ205で作製されたデバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経た後にデバイスが完成し、これが出荷される。

図19には、半導体デバイスの場合における、上記ステップ204の詳細なフロー例が示されている。図19において、ステップ211（酸化ステップ）においてはウエハの表面を酸化させる。ステップ212（CVDステップ）においてはウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ213（電極形成ステップ）においてはウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ214（イオン打込みステップ）においてはウエハにイオンを打ち込む。以上のステップ211～ステップ214それぞれは、ウエハ処理の各段階の前処理工程を構成しており、各段階において必要な処理に応じて選択されて実行される。

ウエハプロセスの各段階において、上述の前処理工程が終了すると、以下のようにして後処理工程が実行される。この後処理工程では、まず、ステップ215（レジスト形成ステップ）において、ウエハに感光剤を塗布する。引き続き、ステップ216（露光ステップ）において、上で説明した露光装置10又は130を用いてマスク（レチクル）の回路パターンをウエハに転写する。次に、ステップ217（現像ステップ）においては露光されたウエハを現像し、ステップ218（エッチングステップ）において、レジストが残存している部分以外の部分の露出部材をエッチングにより取り去る。そして、ステップ219（レジスト除去ステップ）において、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。

これらの前処理工程と後処理工程とを繰り返し行うことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。

以上説明した本実施形態のデバイス製造方法によると、露光工程（ステップ 216）において上記各実施形態の露光装置 10、130 を用いて露光が行われるので、露光精度の向上により、高集積度のデバイスを歩留まり良く生産することができる。

#### 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明に係るパラレルリンク機構は、小型・軽量化と出力の向上とを同時に実現でき、露光装置に好適に適用することができる。また、本発明に係る露光装置は、集積回路等のマイクロデバイスを製造するリソグラフィ工程において、微細パターンをウエハ等の基板上に精度良く複数層重ねて形成するのに適している。また、本発明に係るデバイス製造方法は、微細なパターンを有するデバイスの製造に適している。

## 請 求 の 範 囲

1. 可動体の少なくとも3自由度方向の位置・姿勢を制御するパラレルリンク機構であって、

ベース部材と；

前記ベース部材と前記可動体とを連結するとともに、それぞれの軸方向に相対移動可能な第1軸部材と第2軸部材とを有する、少なくとも3本の伸縮可能なロッドと；

前記各ロッドに設けられ、前記第1軸部材と前記第2軸部材とを前記軸方向に相対駆動して前記各ロッドを伸縮させる伸縮機構とを備え、

前記伸縮機構が、前記第1及び第2軸部材の一方に一体的に設けられた円筒状の可動子と、前記第1及び第2軸部材の他方に一体的に設けられた円柱状の固定子とを有し、前記可動子と前記固定子との間の電磁氣的相互作用により発生する駆動力により前記第1軸部材と前記第2軸部材とを前記軸方向に相対駆動するシャフトモータを含むことを特徴とするパラレルリンク機構。

2. 請求項1に記載のパラレルリンク機構において、

前記伸縮機構は、前記シャフトモータに並列あるいは直列に配置されたエアシリンダを更に含むことを特徴とするパラレルリンク機構。

3. 所定のパターンを基板上に転写する露光装置であって、

前記パターンの転写を行う露光本体部と；

前記露光本体部の少なくとも一部を姿勢制御可能に支持するパラレルリンク機構とを備える露光装置。

4. 請求項 3 に記載の露光装置において、  
前記露光本体部は、前記基板を保持する基板ステージを有し、  
前記平行リンク機構は、前記基板ステージの少なくとも 3 自由度方向の位置・姿勢を制御することを特徴とする露光装置。
5. 請求項 4 に記載の露光装置において、  
前記平行リンク機構は、第 1 のベース部材と、該第 1 のベース部材と前記基板ステージとを連結する少なくとも 3 本の伸縮可能な第 1 のロッドと、前記各第 1 のロッドに設けられ当該各第 1 のロッドを伸縮させる第 1 の伸縮機構とを有することを特徴とする露光装置。
6. 請求項 5 に記載の露光装置において、  
前記平行リンク機構は、前記第 1 のロッドを 6 本有し、前記各第 1 のロッドの伸縮により前記基板ステージの 6 自由度方向の位置・姿勢を制御することを特徴とする露光装置。
7. 請求項 5 に記載の露光装置において、  
前記第 1 の伸縮機構は、相互に並列又は直列に配置されたエアシリンダと電磁力リニアモータとを有することを特徴とする露光装置。
8. 請求項 5 に記載の露光装置において、  
前記露光本体部は、前記パターンを前記基板上に投影する投影光学系を更に有することを特徴とする露光装置。
9. 請求項 8 に記載の露光装置において、  
前記露光本体部は、前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステ

ージを更に有し、

前記平行リンク機構は、前記マスクステージの少なくとも3自由度方向の相対位置を制御することを特徴とする露光装置。

10. 請求項9に記載の露光装置において、

前記平行リンク機構は、第2のベース部材と、該第2のベース部材と前記マスクステージとを連結する少なくとも3本の伸縮可能な第2のロッドと、前記各第2のロッドに設けられ当該各第2のロッドを伸縮させる第2の伸縮機構とを有することを特徴とする露光装置。

11. 請求項10に記載の露光装置において、

前記平行リンク機構は、前記第2のロッドを6本有し、前記各第2のロッドの伸縮により前記マスクステージの6自由度方向の位置・姿勢を制御することを特徴とする露光装置。

12. 請求項10に記載の露光装置において、

前記第1、第2の伸縮機構の少なくとも一方は、相互に並列又は直列に配置されたエアシリンダと電磁力ニアモータとを有することを特徴とする露光装置。

13. 請求項12に記載の露光装置において、

前記第1、第2のロッドの少なくとも一方は、前記電磁力ニアモータの可動子を固定子に対して非接触で支持する軸受け装置を更に有することを特徴とする露光装置。

14. 請求項13に記載の露光装置において、



前記軸受け装置は、気体静圧軸受け装置であることを特徴とする露光装置。

15. 請求項14に記載の露光装置において、

前記気体静圧軸受け装置は、差動排気機構を有していることを特徴とする露光装置。

16. 請求項13に記載の露光装置において、

前記軸受け装置は、磁気軸受け装置であることを特徴とする露光装置。

17. 請求項10に記載の露光装置において、

前記エアシリンダを用いて前記両ステージの少なくとも一方と前記投影光学系との相対位置の調整を静的に行うとともに、前記電磁力ニアモータを用いて振動を制振する制御装置を更に備えることを特徴とする露光装置。

18. 請求項10に記載の露光装置において、

前記電磁力ニアモータの電流制御により高周波振動を絶縁する制御装置を更に備えることを特徴とする露光装置。

19. 請求項10に記載の露光装置において、

前記投影光学系を、前記露光本体部が設置される床面上で固定支持する支持機構を更に備えることを特徴とする露光装置。

20. 請求項10に記載の露光装置において、

前記平行リンク機構は、第3のベース部材と、該第3のベース部材と前記投影光学系とを連結する少なくとも3本の伸縮可能な第3のロッドと、前記各第3のロッドに設けられ当該各第3のロッドを伸縮させる第3の伸縮機構と

を更に有することを特徴とする露光装置。

21. 請求項20に記載の露光装置において、

前記第3伸縮機構は、エアシリンダを有することを特徴とする露光装置。

22. 請求項20に記載の露光装置において、

前記第1、第2、第3のベース部材の内、任意の少なくとも2つは、同一部材であることを特徴とする露光装置。

23. 請求項3に記載の露光装置において、

前記露光本体部は、前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステージを有し、

前記平行リンク機構は、前記マスクステージの3自由度方向の相対位置を制御することを特徴とする露光装置。

24. 請求項23に記載の露光装置において、

前記平行リンク機構は、ベース部材と、該ベース部材と前記マスクステージとを連結する少なくとも3本の伸縮可能なロッドと、前記各ロッドに設けられ当該各ロッドを伸縮させる伸縮機構とを有することを特徴とする露光装置。

25. 請求項24に記載の露光装置において、

前記平行リンク機構は、前記ロッドを6本有し、前記各ロッドの伸縮により前記マスクステージの6自由度方向の位置・姿勢を制御することを特徴とする露光装置。

26. 請求項3に記載の露光装置において、

前記露光本体部は、前記基板を保持する基板ステージと、前記基板ステージを移動可能に支持する第1のステージベースとを有し、

前記平行リンク機構は、前記第1のステージベースの3自由度方向の相対位置を制御することを特徴とする露光装置。

27. 請求項26に記載の露光装置において、

前記平行リンク機構は、第1のベース部材と、該第1のベース部材と前記第1のステージベースとを連結する少なくとも3本の伸縮可能な第1のロッドと、前記各第1のロッドに設けられ当該各第1のロッドを伸縮させる第1の伸縮機構とを有することを特徴とする露光装置。

28. 請求項27に記載の露光装置において、

前記第1の伸縮機構は、相互に並列又は直列に配置されたエアシリンダと電磁力リニアモータとを有することを特徴とする露光装置。

29. 請求項27に記載の露光装置において、

前記露光本体部は、前記第1のステージベースとは独立して支持され、前記パターンを前記基板上に投影する投影光学系を更に有することを特徴とする露光装置。

30. 請求項29に記載の露光装置において、

前記投影光学系に固定され、前記基板と前記投影光学系との6自由度方向の相対位置関係を検出する位置検出装置を更に備えることを特徴とする露光装置。

。

3 1. 請求項 2 9 に記載の露光装置において、

前記投影光学系を、前記露光本体部が設置される床面上で固定支持する支持部材を更に備えることを特徴とする露光装置。

3 2. 請求項 2 9 に記載の露光装置において、

前記露光本体部は、前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステージと、前記マスクステージを移動可能に支持する第 2 のステージベースとを更に有し、

前記平行リンク機構は、前記第 2 のステージベースの 3 自由度方向の位置・姿勢をも制御することを特徴とする露光装置。

3 3. 請求項 3 1 に記載の露光装置において、

前記投影光学系に固定され、前記マスクステージと前記投影光学系との 6 自由度方向の相対位置関係を検出する位置検出装置を更に備えることを特徴とする露光装置。

3 4. 請求項 3 3 に記載の露光装置において、

前記位置検出装置は、干渉計であり、

前記干渉計からの測長ビームが照射される  $X$ 、 $Y$ 、 $\theta_z$  方向の相対位置検出用のミラーは、前記マスクステージに設けられ、

前記干渉計からの測長ビームが照射される  $Z$ 、 $\theta_x$ 、 $\theta_y$  方向の相対位置検出用のミラーは、前記第 2 のステージベースに固定されていることを特徴とする露光装置。

3 5. 請求項 3 2 に記載の露光装置において、

前記平行リンク機構は、第 2 のベース部材と、該第 2 のベース部材と前

記第 2 のステージベースとを連結する少なくとも 3 本の伸縮可能な第 2 のロッドと、前記各第 2 のロッドに設けられ当該各第 2 のロッドを伸縮させる第 2 の伸縮機構とを有することを特徴とする露光装置。

36. 請求項 35 に記載の露光装置において、

前記平行リンク機構は、第 3 のベース部材と、該第 3 のベース部材と前記投影光学系とを連結する少なくとも 3 本の伸縮可能な第 3 のロッドと、前記各第 3 のロッドに設けられ当該各第 3 のロッドを伸縮させる第 3 の伸縮機構とを更に有することを特徴とする露光装置。

37. 請求項 36 に記載の露光装置において、

前記第 3 の伸縮機構は、エアシリンダを有することを特徴とする露光装置。

38. 請求項 36 に記載の露光装置において、

前記第 1、第 2、第 3 のベース部材の内、任意の少なくとも 2 つは、同一部材であることを特徴とする露光装置。

39. 請求項 35 に記載の露光装置において、

前記第 1、第 2 の伸縮機構の少なくとも一方は、相互に並列又は直列に配置されたエアシリンダと電磁力リニアモータとを有することを特徴とする露光装置。

40. 請求項 39 に記載の露光装置において、

前記第 1、第 2 のロッドの少なくとも一方は、前記電磁力リニアモータの可動子を固定子に対して非接触で支持する軸受け装置を更に有することを特徴とする露光装置。

- 4 1. 請求項 4 0 に記載の露光装置において、  
前記軸受け装置は、気体静圧軸受け装置であることを特徴とする露光装置。
- 4 2. 請求項 4 1 に記載の露光装置において、  
前記気体静圧軸受け装置は、差動排気機構を有していることを特徴とする露光装置。
- 4 3. 請求項 4 0 に記載の露光装置において、  
前記軸受け装置は、磁気軸受け装置であることを特徴とする露光装置。
- 4 4. 請求項 3 9 に記載の露光装置において、  
前記エアシリンダを用いて前記第 1、第 2 のステージベースの少なくとも一方と前記投影光学系との相対位置の調整を静的に行うとともに、前記電磁力リニアモータを用いて振動の制振を行う制御装置を更に備えることを特徴とする露光装置。
- 4 5. 請求項 3 9 に記載の露光装置において、  
前記エアシリンダの空圧を制御することにより低周波振動を制振するとともに、前記電磁力リニアモータの電流制御により高周波振動を絶縁する制御装置を更に備えることを特徴とする露光装置。
- 4 6. 請求項 3 2 に記載の露光装置において、  
前記第 1、第 2 のステージベースの少なくとも一方に、ステージが複数搭載されていることを特徴とする露光装置。
- 4 7. 請求項 3 に記載の露光装置において、

前記露光本体部は、前記パターンが形成されたマスクを保持するマスクステージと、前記マスクステージを移動可能に支持するステージベースとを有し、  
前記パラレルリンク機構は、前記ステージベースの 3 自由度方向の位置・姿勢を制御することを特徴とする露光装置。

48. 請求項 47 に記載の露光装置において、

前記パラレルリンク機構は、ベース部材と、該ベース部材と前記ステージベースとを連結する少なくとも 3 本の伸縮可能なロッドと、前記各ロッドに設けられ当該各ロッドを伸縮させる伸縮機構とを有することを特徴とする露光装置。

49. 請求項 3 に記載の露光装置において、

前記露光本体部の少なくとも一部を外気と隔離した状態で収納するとともにその姿勢の変化を許容するチャンバを更に備えることを特徴とする露光装置。

50. 請求項 49 に記載の露光装置において、

前記チャンバ内に不活性ガスをパージするための真空排気系と気体供給系とを更に備えることを特徴とする露光装置。

51. 請求項 32 に記載の露光装置において、

前記マスクステージを収納するとともに前記第 2 のステージベースを一部とする第 1 室と、前記投影光学系を収納する第 2 室と、前記基板ステージを収納するとともに前記第 1 のステージベースを一部とする第 3 室と、前記第 1 室と第 2 室、及び前記第 2 室と前記第 3 室とをそれぞれ連結する伸縮自在の蛇腹状部材とを有し、前記基板ステージ、投影光学系、及び前記マスクステージを外気と隔離するチャンバを更に備えることを特徴とする露光装置。

5 2. 請求項 5 1 に記載の露光装置において、

前記チャンバ内に不活性ガスをパージするための真空排気系と気体供給系とを更に備えることを特徴とする露光装置。

5 3. マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、

前記マスクを保持するマスクステージを提供する工程と；

前記マスクのパターンを基板に投影する投影光学系を提供する工程と；

前記基板を保持する基板ステージを提供する工程と；

前記マスクステージ及び前記基板ステージの少なくとも一方と前記投影光学系との少なくとも 3 自由度方向の相対位置を制御可能に前記マスクステージ及び前記基板ステージの少なくとも一方を支持するパラレルリンク機構を提供する工程とを含む露光装置の製造方法。

5 4. マスクのパターンを基板上に転写する露光装置の製造方法であって、

前記マスクを保持するマスクステージを提供する工程と；

前記マスクのパターンを前記基板に投影する投影光学系を提供する工程と；

前記基板を保持する基板ステージを提供する工程と；

前記マスクステージを移動可能に支持する第 1 のステージベースを提供する工程と；

前記基板ステージを移動可能に支持する第 2 のステージベースを提供する工程と；

前記第 1、第 2 のステージベースの少なくとも一方と前記投影光学系との少なくとも 3 自由度方向の相対位置を制御可能に前記第 1、第 2 のステージベースの少なくとも一方を支持するパラレルリンク機構を提供する工程とを含む露光装置の製造方法。



5 5. リソグラフィ工程を含むデバイスの製造方法であって、  
前記リソグラフィ工程において、請求項 3 ～ 5 2 のいずれか一項に記載の露  
光装置を用いて露光を行うことを特徴とするデバイス製造方法。

Fig. 1

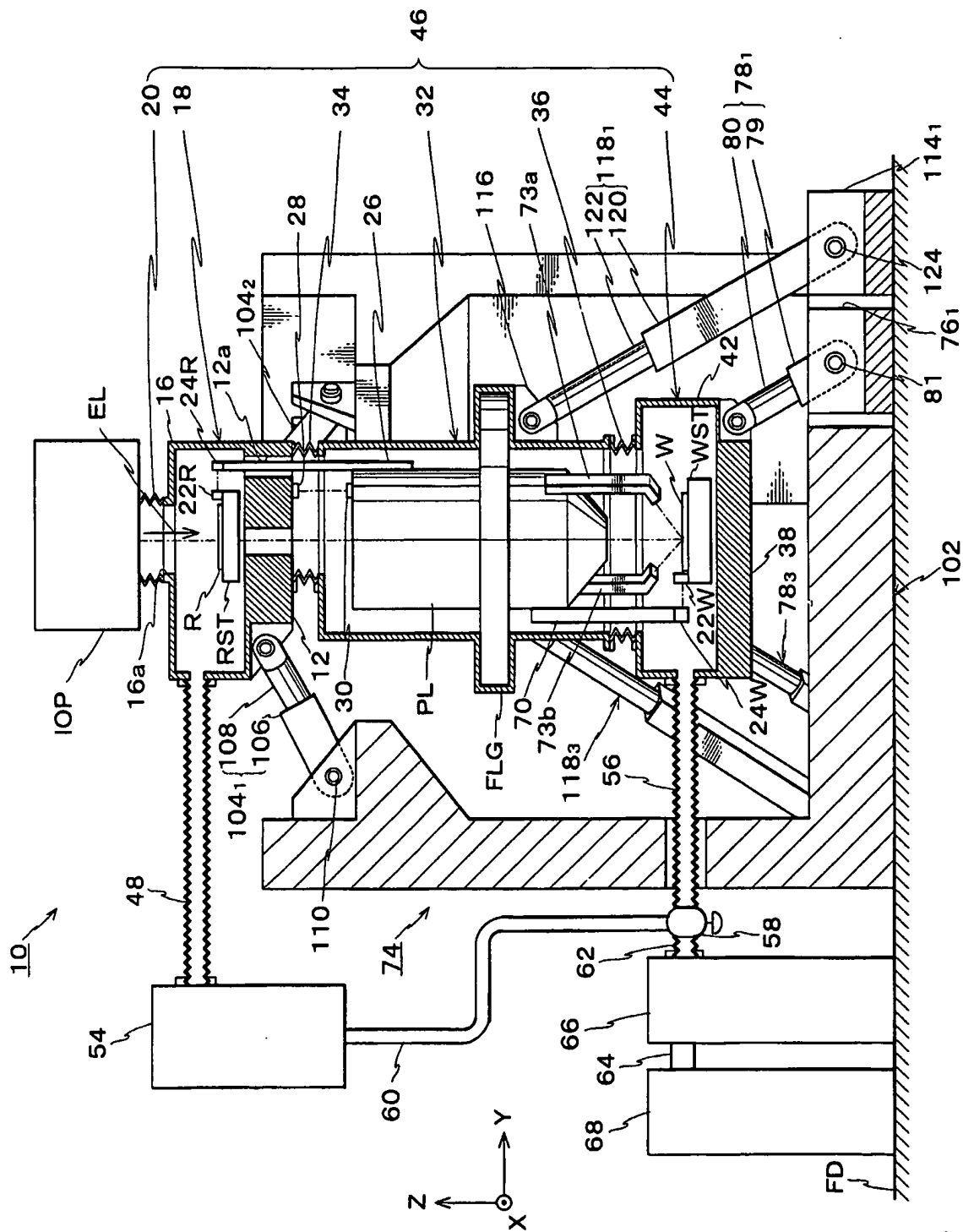




Fig. 3

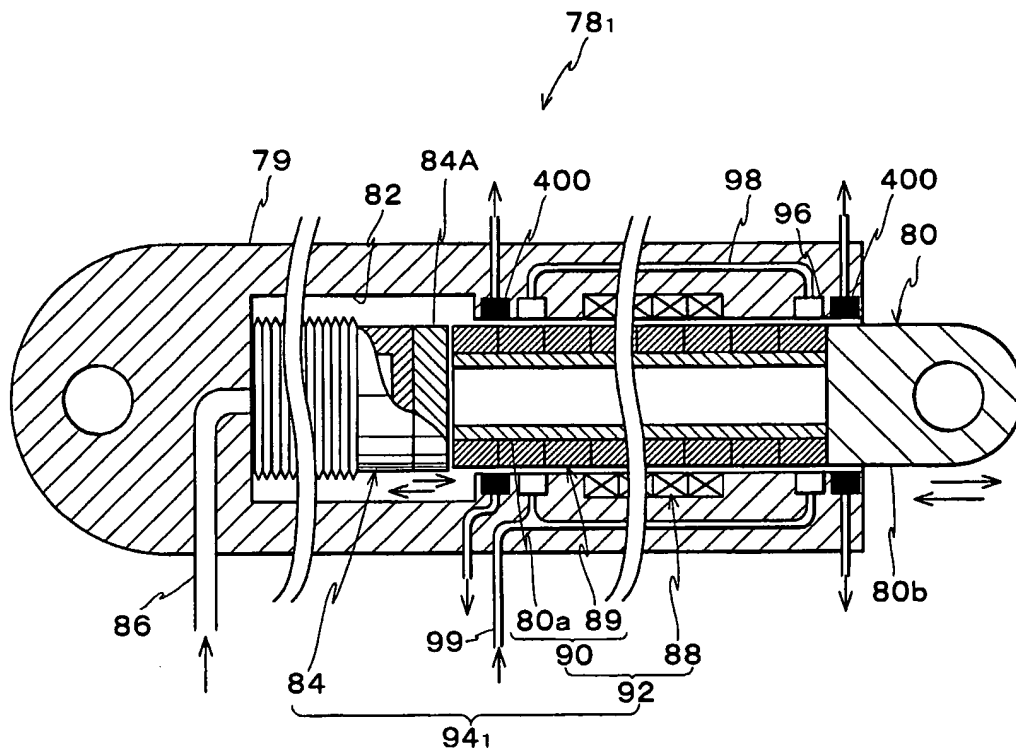
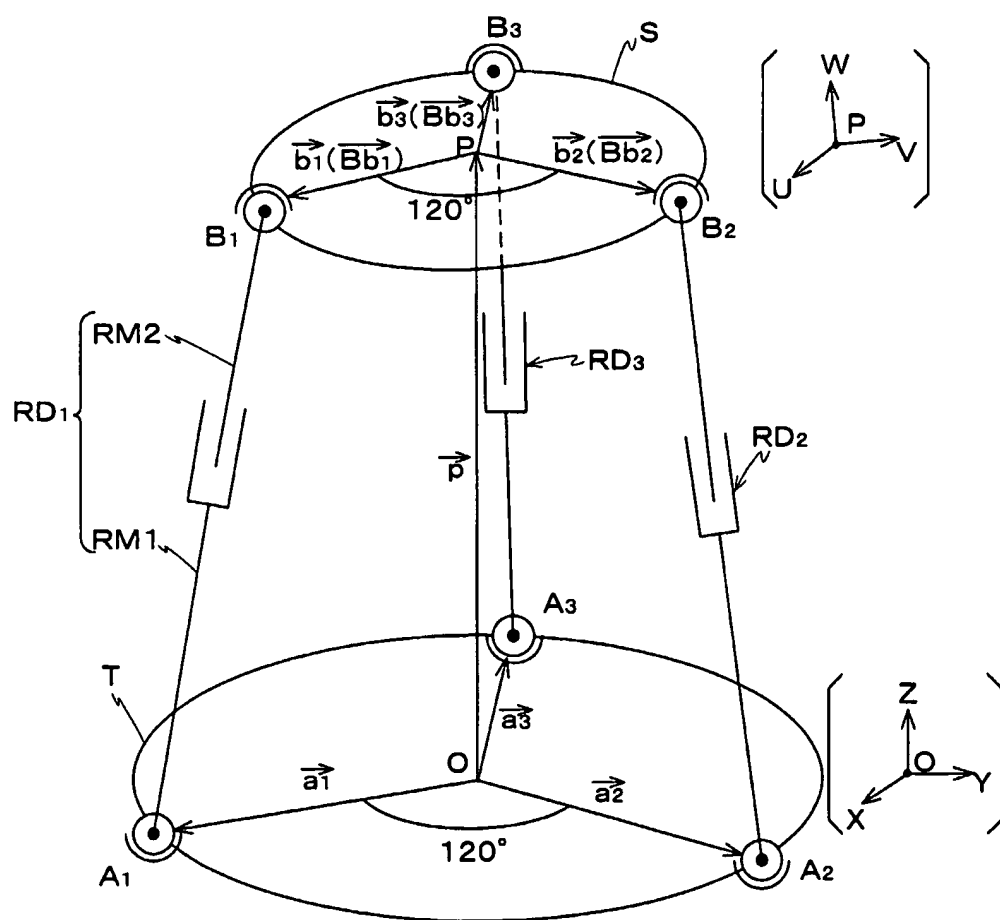


Fig. 4



F i g . 5

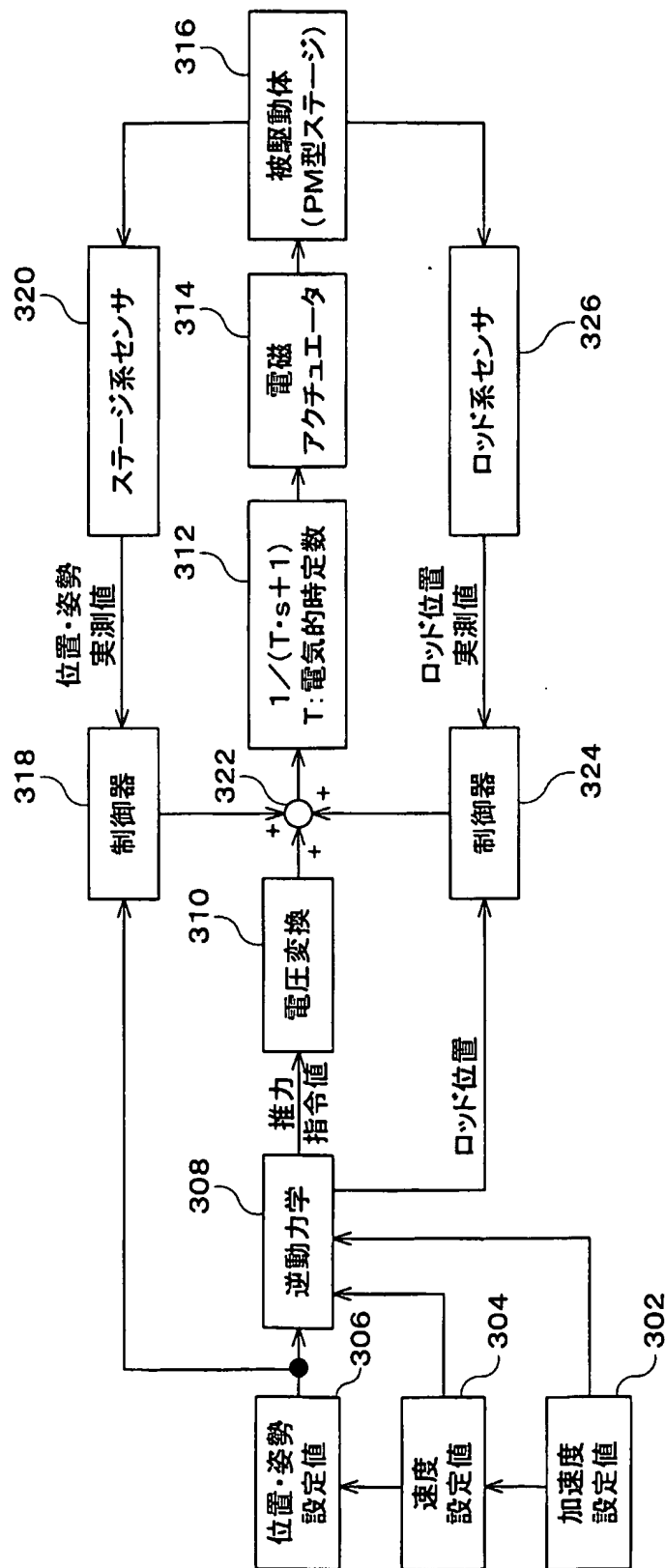


Fig. 6

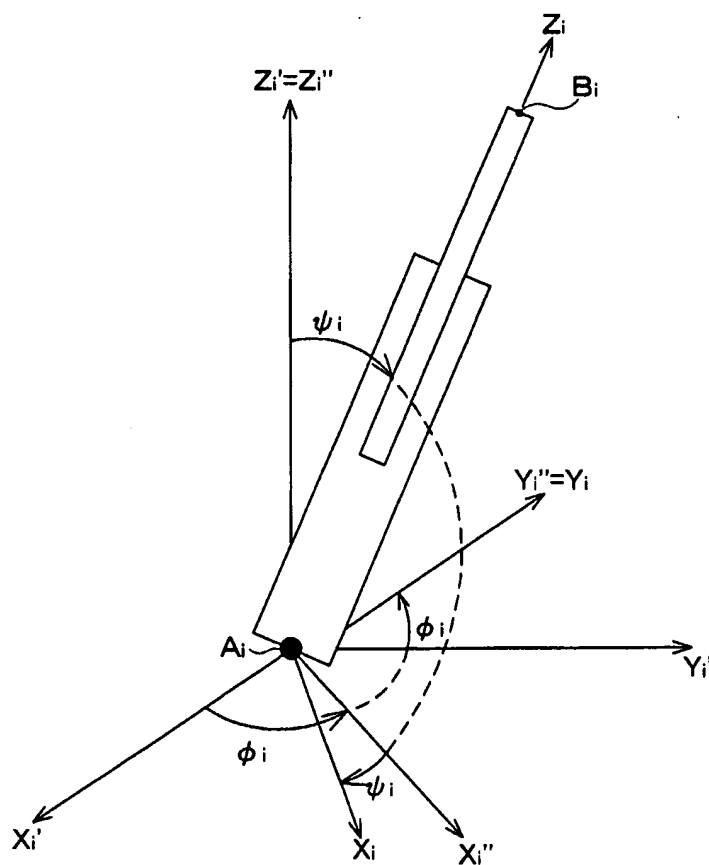


Fig. 7

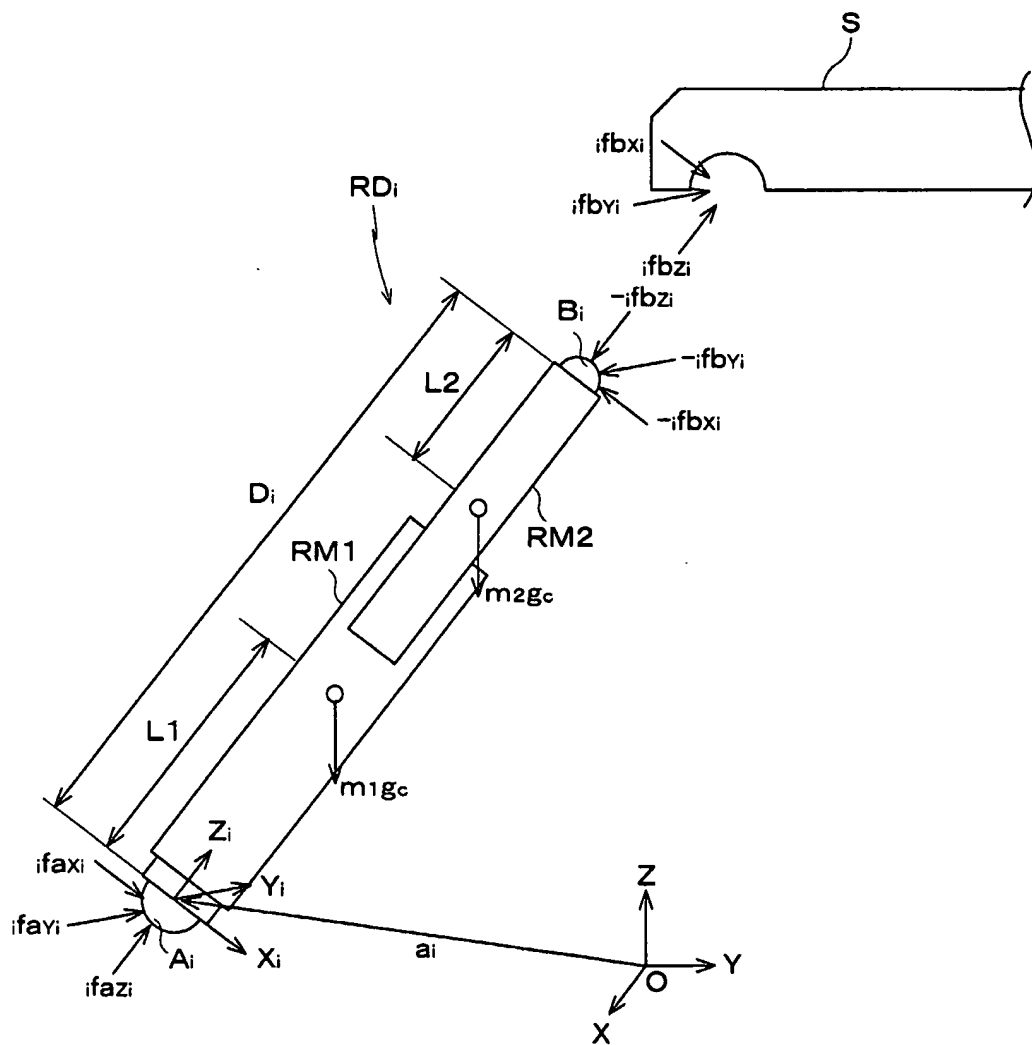




Fig. 8

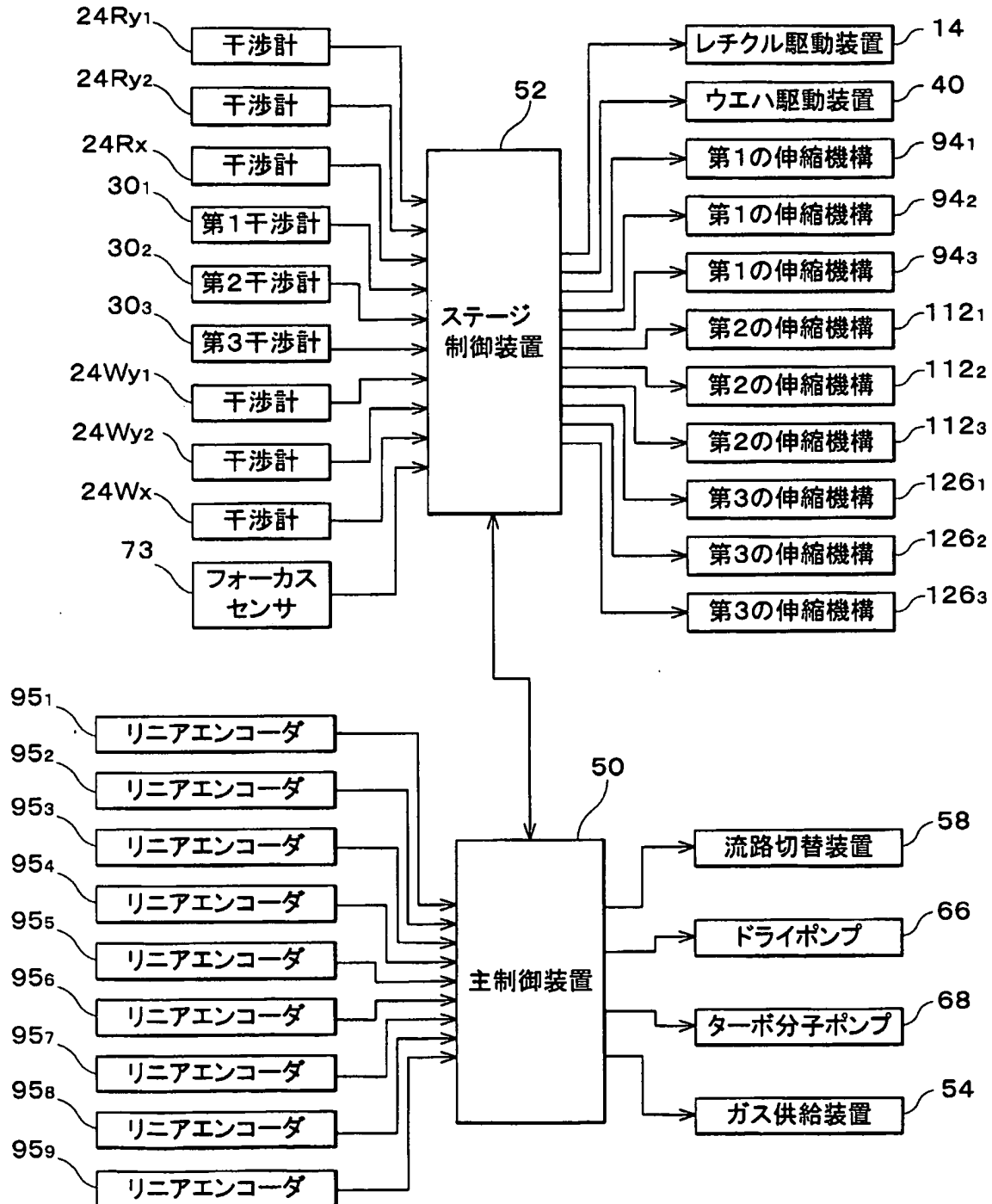


Fig. 9

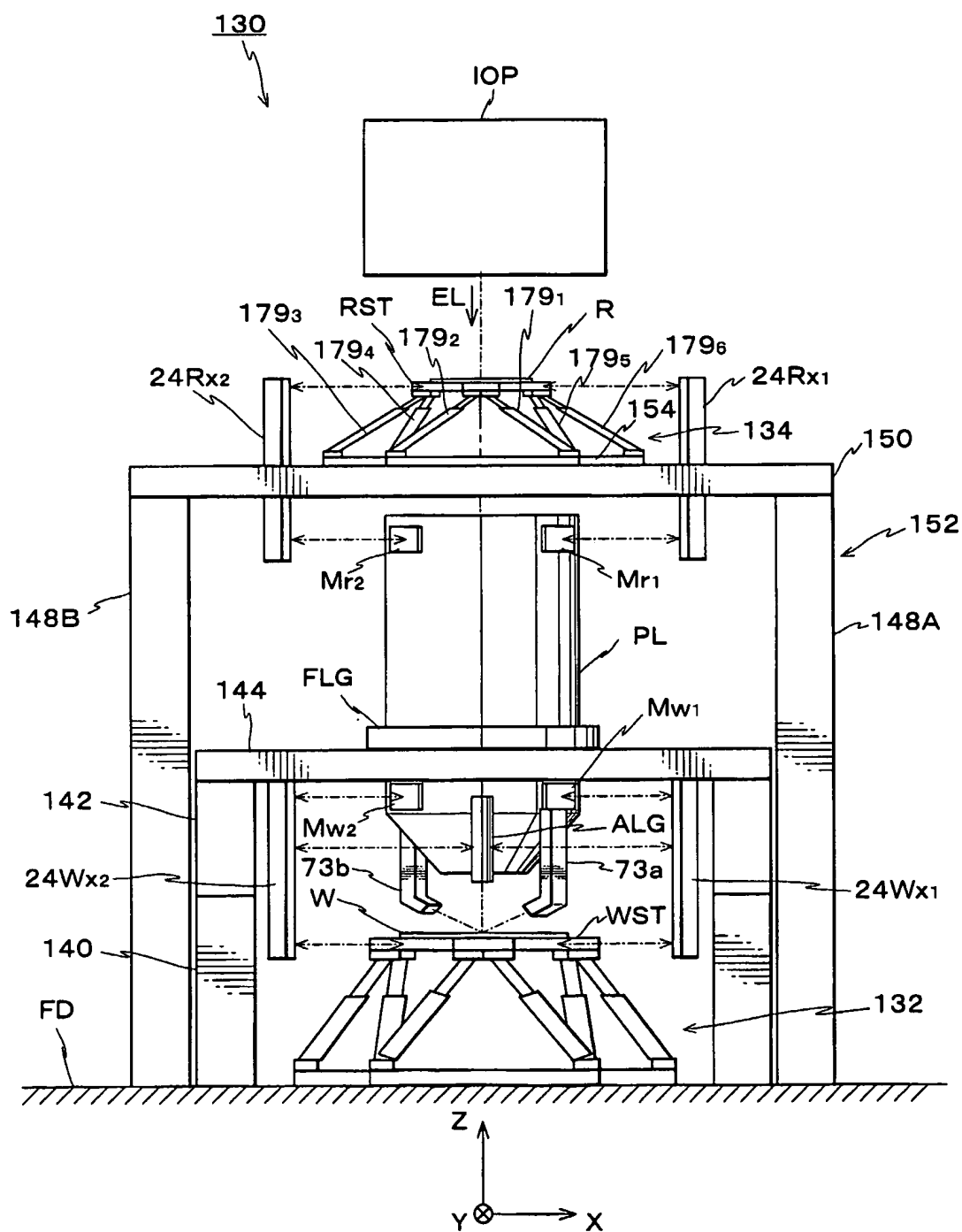
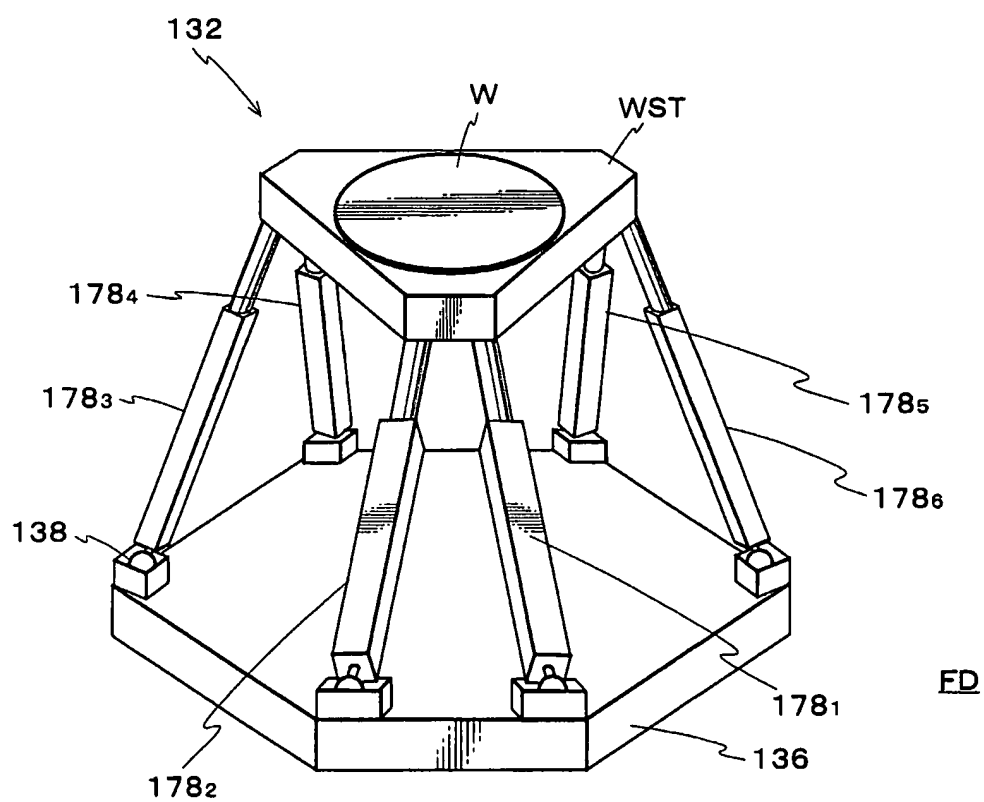


Fig. 10





**F i g . 1 2**

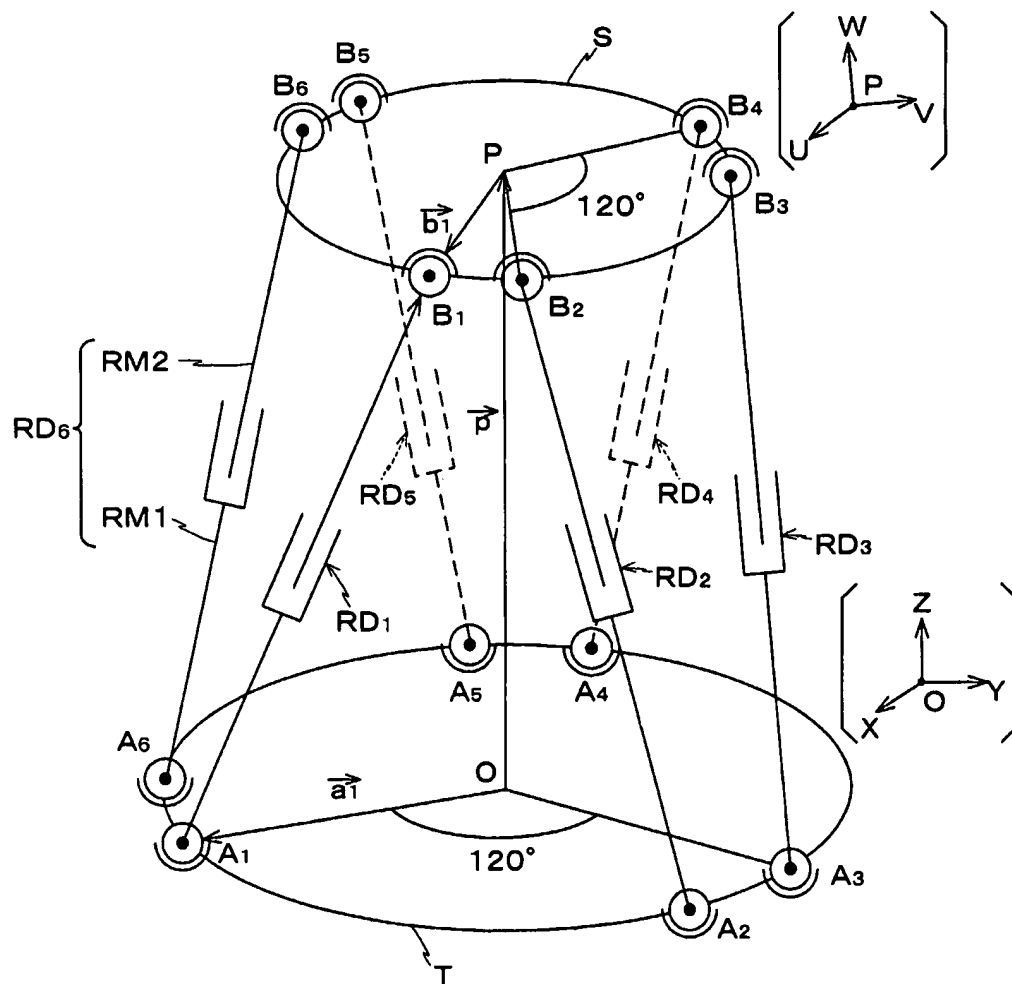


Fig. 13

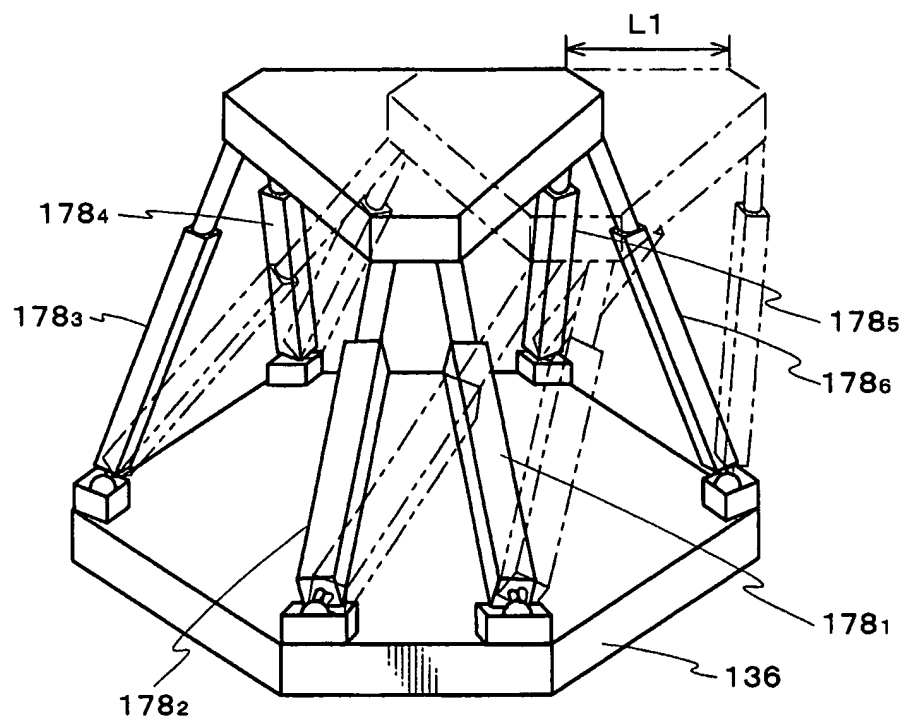


Fig. 14

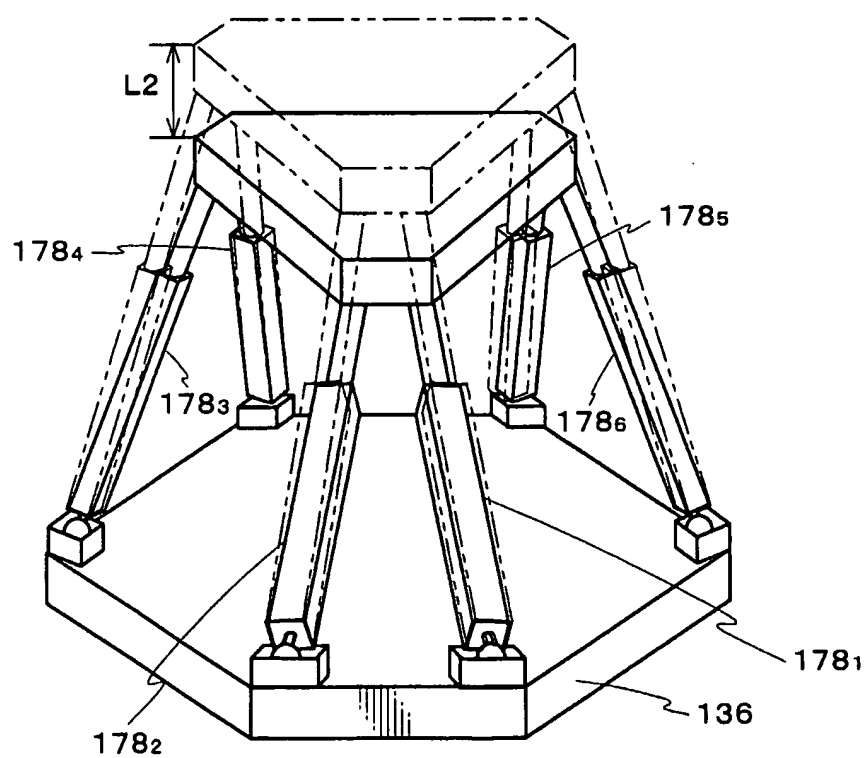


Fig. 15

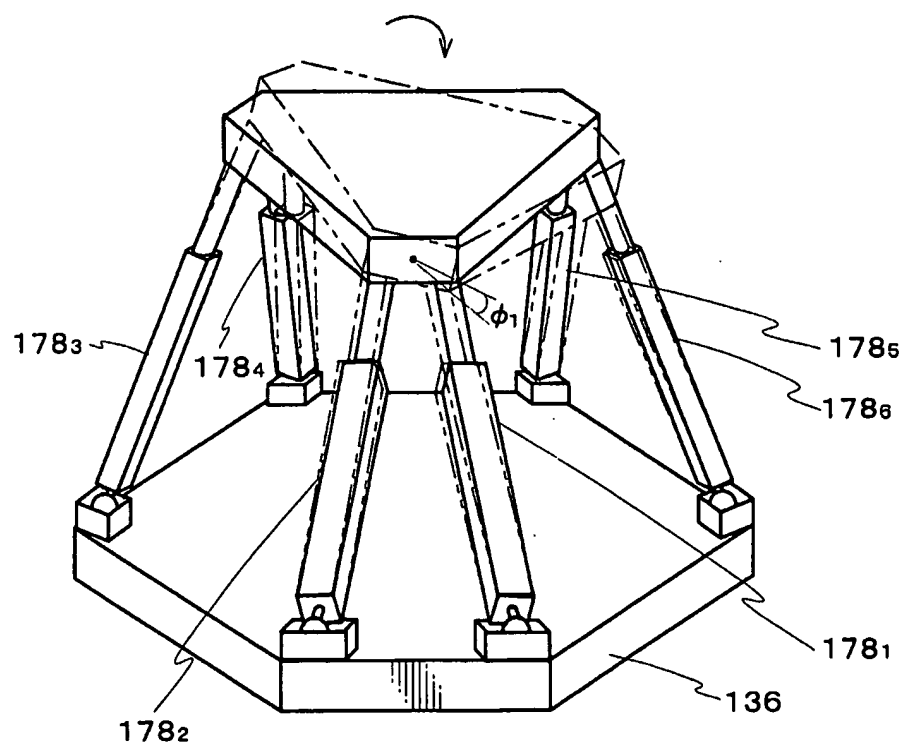




Fig. 16

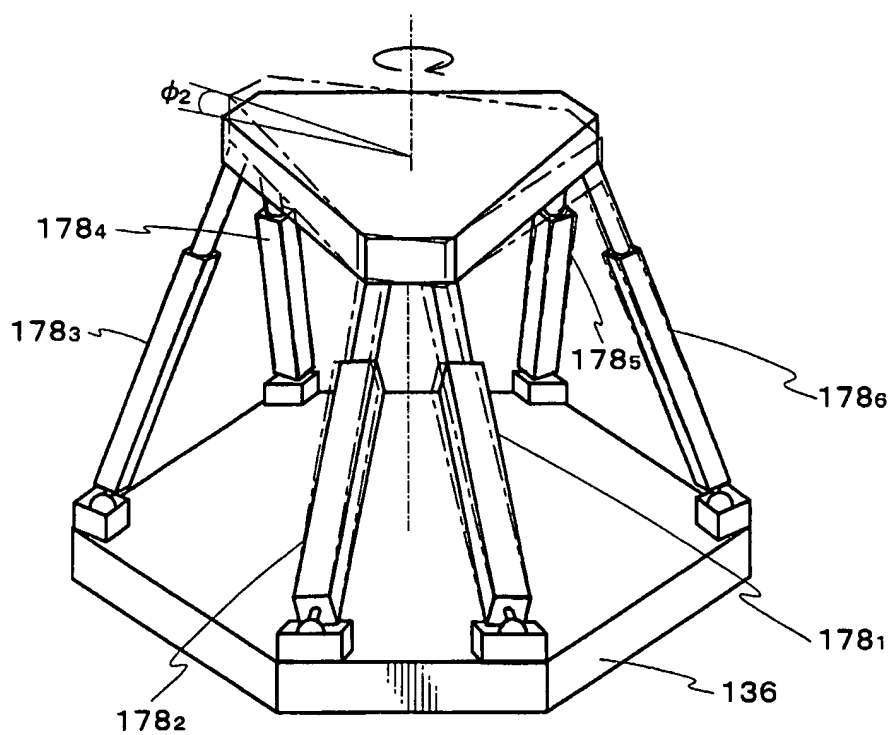


Fig. 17

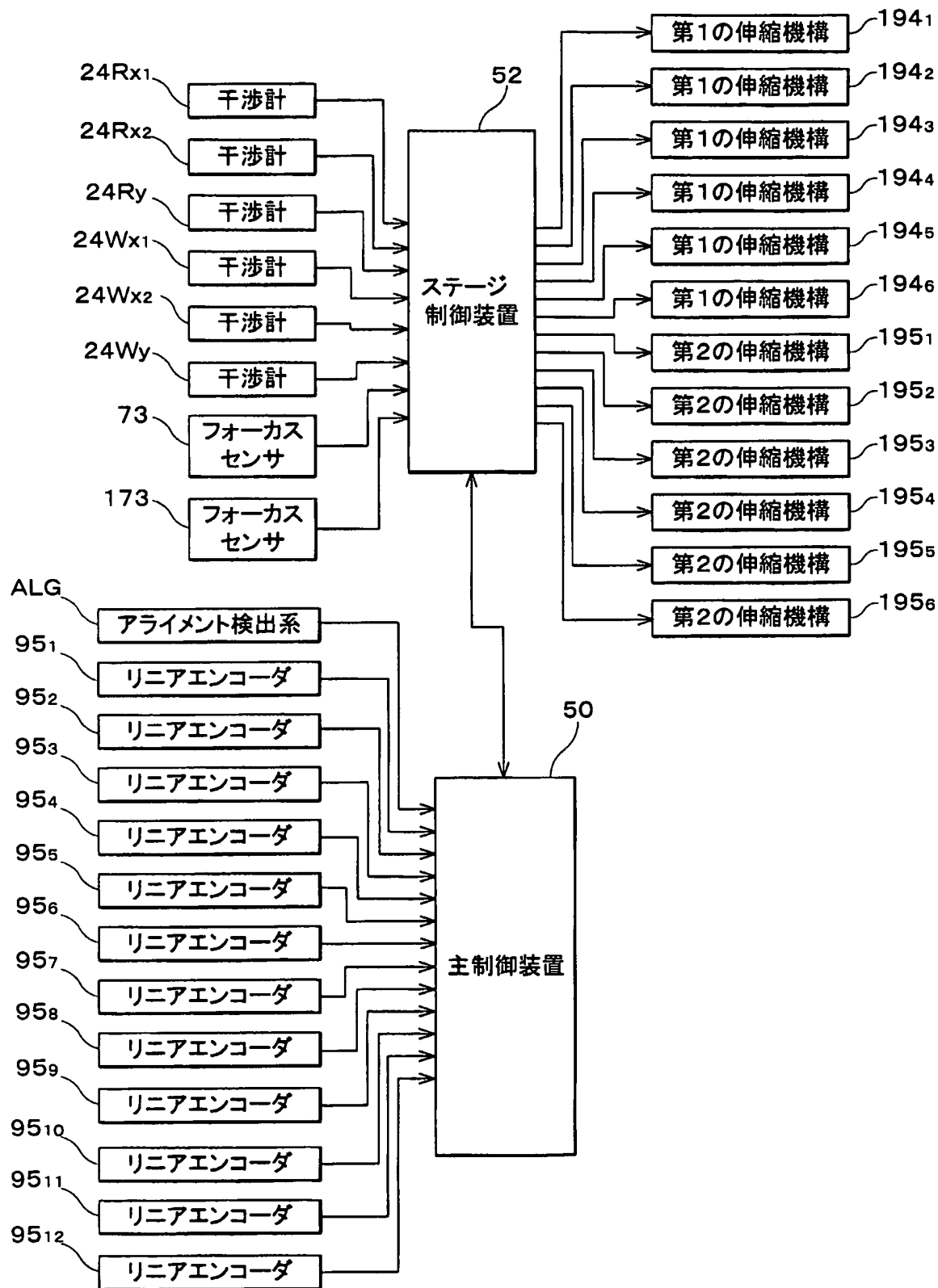


Fig. 18

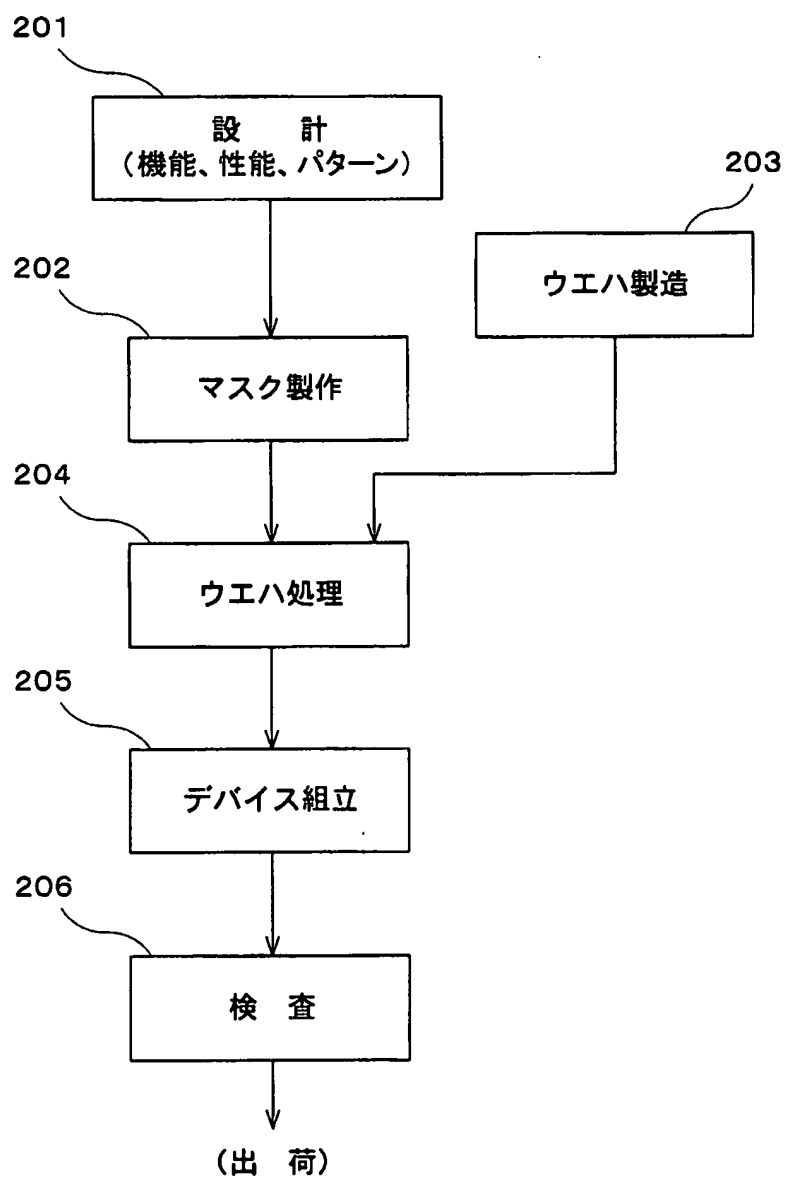
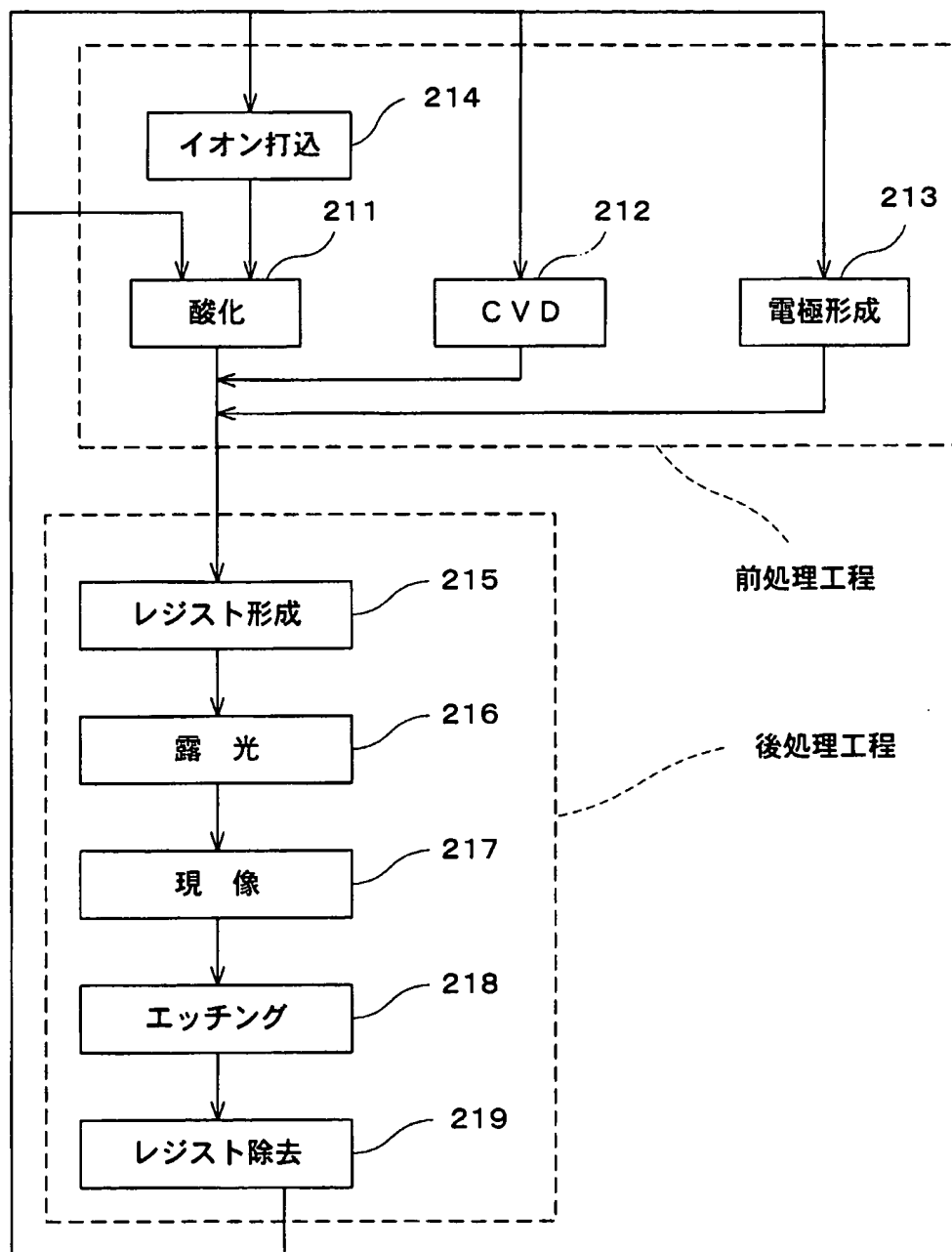


Fig. 19



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/05102

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl.<sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl.<sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/22 G12B5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-1999  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-1999 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-1999

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI (DIALOG)  
INSPEC (DIALOG)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No.       |
|-----------|---|-----------------------------|
| E, X      | JP, 11-274031, A (Canon Inc.),<br>08 October, 1999 (08.10.99),<br>Claims; Par. Nos. [0023] to [0060] (Family: none)                                     | 1-9, 26-31,<br>47-50, 53-55 |
| X         | US, 5545962, A (CANON Kabushiki Kaisha),<br>13 August, 1996 (13.08.96),<br>Claim<br>JP, 6-151272, A (Canon Inc.),<br>31 May, 1994 (31.05.94),<br>Claims | 1, 2                        |
| E, X      | JP, 10-260277, A (Olympus Optical Company Limited),<br>29 September, 1998 (29.09.98),<br>page 1, Claim<br>(Family: none)                                | 1                           |

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
14 December, 1999 (14.12.99)

Date of mailing of the international search report  
21 December, 1999 (21.12.99)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

|  |   |                                      |
|--|---|--------------------------------------|
| A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  |   |                                      |
| Int. Cl <sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/22  |   |                                      |
| B. 調査を行った分野  |   |                                      |
| 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))   |   |                                      |
| Int. Cl <sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/22 G12B5/00   |   |                                      |
| 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの   |   |                                      |
| 日本国実用新案公報 1926-1996年<br>日本国公開実用新案公報 1971-1999年<br>日本国登録実用新案公報 1994-1999年<br>日本国実用新案登録公報 1996-1999年   |   |                                      |
| 国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)  |   |                                      |
| WPI (DIALOG)<br>INSPEC (DIALOG)  |   |                                      |
| C. 関連すると認められる文献  |   |                                      |
| 引用文献の<br>カテゴリー*  | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示   | 関連する<br>請求の範囲の番号                     |
| E, X   | JP, 11-274031, A (キャノン株式会社)<br>8. 10月. 1999 (08. 10. 99)<br>請求の範囲, [0023] - [0060]<br>(ファミリーなし)   | 1-9, 26-31,<br>47-50, 53-55          |
| X  | US, 5545962, A (CANON Kabushiki Kaisha)<br>13. 8月. 1996 (13. 08. 96), claim<br>JP, 6-151272, A (キャノン株式会社)<br>31. 5月. 1994 (31. 05. 94), 請求の範囲 | 1, 2                                 |
| E, X   | JP, 10-260277, A (オリンパス光学工業株式会社)<br>29. 9月. 1998 (29. 09. 98)<br>1ページ, 請求の範囲<br>(ファミリーなし)   | 1                                    |
| <input type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。   |   |                                      |
| * 引用文献のカテゴリー<br>「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの<br>「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの<br>「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)<br>「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献<br>「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願        |   |                                      |
| の日の後に公表された文献<br>「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの<br>「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの<br>「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの<br>「&」 同一パテントファミリー文献 |   |                                      |
| 国際調査を完了した日   | 14. 12. 99  | 国際調査報告の発送日                           |
| 国際調査機関の名称及びあて先<br>日本国特許庁 (ISA/JP)<br>郵便番号100-8915<br>東京都千代田区霞が関三丁目4番3号   |   | 特許庁審査官 (権限のある職員)<br>岩本 勉             |
|  |   | 2M 9355<br>電話番号 03-3581-1101 内線 3274 |

**(12) International Application Published Based On Patent Cooperation Treaty**  
**(19) World Intellectual Property Organization**  
**International Bureau**  
**(10) International Publication**  
**Number**  
**WO 01/22480 A1**  
**(43) International Publication Date:**  
**March 29, 2001**

---

|  |   |
|--|---|
| <p>(51) International Patent Classification<sup>7</sup>:<br/><i>H01L 21/027, G03F 7/22</i><br/>(21) International Application Number:<br/><b>PCT/JP99/05102</b><br/>(22) International Application Date: September 20, 1999<br/>(25) Language of International Application: Japanese<br/>(26) Language of International Publication: Japanese<br/>(71) Applicant (For all designated countries with the exception of the U.S.): NIKON CORPORATION [JP/JP]; 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8331 (JP)<br/>(72) Inventor; and<br/>(75) Inventor/Applicant (For the U.S. only): TANAKA Keiichi; [JP/JP]; NIKON CORPORATION, 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8331 (JP)<br/>(74) Agent: TATEISHI Atsushi, Pacey Bldg. 5f. 5-4-20, Haramachida, Machida-shi, Tokyo 194-0013 (JP)</p> | <p>(81) Designated Country (domestic): AE, AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CR, CU, CZ, DM, EE, GD, GE, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, TR, TT, TZ, UA, US, UZ, VN, YU, ZA.<br/><br/>(84) Designated Country (wide area): ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), EAPO (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EPO (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).<br/><br/>Attached Published Documents:<br/>- INTERNATIONAL SEARCH REPORT<br/><br/>For two-character codes and other abbreviations, see "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" noted at the beginning of each periodically published <i>PCT</i> Gazette.</p> |
|--|---|

---

**(54) PARALLEL LINK MECHANISM, EXPOSURE SYSTEM AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND METHOD OF MANUFACTURING DEVICES**

(57) Abstract: A parallel link mechanism comprising at least three expansible and contractible rods supporting, independently of other portions and attitude controllably, a reticule surface plate (12) supporting a reticule stage (RST) retaining a reticule (R) thereon and a wafer surface plate (38) supporting a wafer stage (WST) retaining a wafer (W) thereon, whereby it becomes possible to reduce the weight of a portion, which is supported on the parallel link mechanism, by utilizing the advantages of the parallel link mechanism, carry out an attitude control operation with excellent performance characteristics, a high rigidity and a high accuracy, and reliably prevent the transmission of vibrations between the reticule surface plate (12) and wafer surface plate (38) and other portions, for example, a projection optical system (PL), this enabling a fine pattern formed on the reticule (R); to be transferred to an upper surface of the wafer (W) with a high accuracy.

## Specification

### PARALLEL LINK MECHANISM, EXPOSURE SYSTEM AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND METHOD OF MANUFACTURING DEVICES

#### Technical Field

The present invention relates to a parallel link mechanism, an exposure apparatus and its making method, and a method of manufacturing a device and, more specifically, to a parallel link mechanism, a kind of mechanism, to employ at least three expandable rods and control the position/attitude of a movable object, an exposure apparatus employing the parallel link mechanism to control the attitude of at least one of a mask and a substrate and its making method, and a method of manufacturing a micro device (electronic device) by using the exposure apparatus.

#### Background Art

In a lithography process for manufacturing a semiconductor element, liquid crystal display element, or the like, an exposure apparatus has been used. A reduction projection exposure apparatus (stepper), of a step-and-repeat method, which transfers a pattern formed on a mask or reticle (to be generically referred to as a "reticle" hereinafter) through a projection optical system onto a plurality of shot areas on a substrate such as a wafer or glass plate (to be referred to as a "wafer" hereinafter) in turn, and a moving-one-by-one type projection exposure apparatus (to be referred to as a "stepper" hereinafter as needed) such as a scanning projection exposure apparatus (scanning-stepper), of a step-and-scan method, which is obtained by improving the reduction projection exposure apparatus are mainly employed.

Important ones of the basic factors to determine the performance of the stepper are the resolution ability (resolution) and focus depth of the projection optical system (projection lens). It is because the resolution determines the finest pattern size that can be projected and imaged, i.e. the narrowest line width in practice (device rule). Also, its focus depth has to be as wide as possible because a processed wafer has steps formed thereon by forming and etching thin layers of oxide, metal, etc., and may be slightly deformed.

The resolution  $R$  and focus depth  $DOF$  of a projection lens is given by the following two equations as a general measure:



$$R=k_1 \cdot \lambda / N.A. \quad \dots(1)$$

$$DOF=k_2 \cdot \lambda / (N.A.)^2 \quad \dots(2)$$

Note that  $\lambda$ , N.A. and  $k_1$ ,  $k_2$  respectively represent the wavelength of light used for exposure, the numerical aperture of the projection optical system, and parameters determined by resist, etc.

An early stepper used a g-line ( $\lambda=436$  nm) of an ultra-high pressure mercury lamp as exposure illumination light; its N.A. was about 0.3, and its resolution was about 1.2  $\mu\text{m}$ . As obvious in the above equation (1), the larger the N.A. is, the better the resolution is. With a larger N.A., however, the focus depth is decreased as obvious in the above equation (2).

Therefore, apparatuses for production of 16 Mbit DRAM and apparatuses for the later have achieved high resolution by using i-line ( $\lambda=365$  nm) and a projection optical system of which N.A. is about 0.5, and also have achieved a practical focus depth. Because the i-line can be obtained from an ultra-high pressure mercury lamp like the g-line and can be used in the same way as earlier steppers in semiconductor manufacturing factories, the i-line steppers have been introduced as a production unit more smoothly than expected.

After that, in the period from the third generation of 64 Mbit DRAM to 245 Mbit DRAM where their device rules are equal to or less than 0.3  $\mu\text{m}$ , instead of the mercury lamp as a light source, the use of KrF excimer laser was examined, and the application of a phase shift reticle and modified illumination that can be applied by improving then current units was suggested.

While a KrF excimer laser ( $\lambda=248$  nm) stepper uses a common basic body with a previous stepper using g-line or i-line, its optical system from the source to the projection optical system is different. That is, because using light of a shorter wavelength, usable optical materials are limited to quartz, fluorite, etc. In addition, because excimer laser light is pulse emission light and coherent unlike that of a mercury lamp, a special technology for the illumination system is necessary.

Because interference fringe induced by the coherency of the excimer laser affects the precision of line width of an exposure pattern, it is necessary to suppress the effects of the interference fringe by providing a vibrating mirror in the illumination optical system

and making a light beam fluctuate finely. In a stepper with a lamp as its light source, accumulated exposure amount can be controlled by the open/close time of its shutter. Meanwhile, in a laser-light-source stepper using pulse emission, it is necessary to set the number of pulses per an exposure to be equal to or more than a certain number (referred to as a minimum exposure-pulse number) to compensate for energy fluctuation.

For 1 Gbit DRAM of the future where device rules will be equal to or less than 0.2  $\mu\text{m}$ , the use of ArF excimer laser ( $\lambda=193\text{ nm}$ ), phase shift reticle and modified illumination technology is suggested. An ArF excimer laser stepper needs to have the optical path of its exposure light filled with nitrogen or the like because the exposure light is absorbed by oxygen.

To obtain even higher resolution and wider focus depth, light source of a shorter wavelength can be used leaving N.A. of the projection optical system as it is. Recently, reduction projection lithography using  $\text{F}_2$  ( $\lambda=157\text{ nm}$ ) laser having a shorter wavelength than ArF excimer laser as its light source is presented by MIT Lincoln Lab., and is attracting a lot of attention. Because  $\text{F}_2$  laser light is absorbed by oxygen like ArF excimer laser light, exposure needs to be performed in the atmosphere of  $\text{N}_2$  or He.

Furthermore, to improve the precision of an exposure apparatus using light source of such a short wavelength, the precision of positioning of a reticle stage and wafer stage needs to be improved, and it is also necessary to suppress vibrations of units due to reaction caused by the drive of the stages as movable objects as much as possible and insulate floor vibrations.

Therefore, to realize highly precise exposure using such a short-wavelength light source as  $\text{F}_2$  laser, it is necessary to control positioning, and suppressing or insulating vibrations more precisely than ever.

For example, as factors required of a scanning stepper that transfers the reticle pattern onto a plurality of shot areas on the wafer in turn according to a step-and-scan method by repeating a scanning exposure operation, in which a reticle pattern is transferred onto the wafer synchronously moving the reticle stage holding the reticle and the wafer stage holding the wafer in one dimensional direction, and a stepping-between-shots operation of the wafer stage, there are the following things: [1] The driving reactions of the stages do not transmit to the frame supporting the projection optical system; [2] It is easy to adjust relative position and attitude between each of the stages

and the projection optical system; [3] The driving thrust and driving reaction are reduced by making the stages lightweight; [4] It is so structured that floor vibrations are prevented from transmitting to the stages and the projection optical system; [5] It is so structured that the stages and the projection optical system can be easily separated. [1] to [4] are required to realize precise exposure of a fine pattern, and [5] is required to improve easiness of its maintenance and reduce its down-time so that the productivity of a micro device is improved.

Also, there is a double wafer-stage scheme for realizing the high throughput where two wafer stages are mounted on the level block; while a wafer stage is performing exposure, the other performs alignment or the like and the two operations are alternately and continuously performed. Furthermore, a multi-exposure method such as a double exposure method where using two reticle stages each holding a reticle having a pattern different from the other formed thereon, those patterns are transferred in turn is effective for higher integration of semiconductor devices because it is possible to improve the resolution and focus depth. Note that to achieve a desirable effect in the double wafer-stage scheme and the multi-exposure method, the above factors [1] to [4] have to be satisfied as a premise, and that it is preferable to satisfy the above factor [5].

In addition, when performing exposure using light of a wave length shorter than or equal to  $F_2$  laser light, [6] it is required that the stages, the projection optical system, and the like should be contained by a chamber so as to be enclosed in the atmosphere of  $N_2$  or He.

Also, in a step-and-repeat type stepper, it is preferable to satisfy the above factors [1] to [6], not to mention.

Of the above factors [1] to [6], the factor [3] can be satisfied by adopting a planar motor or a cylinder-like linear motor as driving sources of the stages. Especially, when adopting the planar motor as a driving source of the wafer stage, the planar motor can drive the movable object in three degrees of freedom X, Y,  $\theta_z$  by one motor, and therefore, X guide and Y guide of X-Y two dimensional arrangement that were previously indispensable are unnecessary. Also, when driving the stage holding the wafer in one direction of X-axis and Y-axis directions, a motor and a guide for driving the stage in the other direction need not be driven along with the stage, and therefore, the weight of the movable portion can be remarkably reduced. Therefore, it is attracting a lot

of attention as a promising driving source of the wafer stage of an exposure apparatus in the future.

However, it is very difficult to satisfy the rest, [1], [2], [4], [5], [6], at the same time even if the planar motor is adopted as a driving source of the stage.

Meanwhile, as means of moving the movable portion in the six degrees of freedom regarding translation and rotation, a mechanism referred to as a Stewart-platform, a kind of parallel mechanism (also referred to as a parallel link mechanism) where a base portion and end-effector are connected by a plurality of link chains each having more than two joints, is used in training and simulation of flying an air plane, and is attracting attention in the field of industrial robots.

The present invention is invented under such a circumstance and a first purpose of the present invention is to provide a parallel link mechanism that can realize the miniaturization/lightening and the improvement of the output at the same time.

Furthermore, a second purpose of the present invention is to provide an exposure apparatus that can precisely transfer a fine pattern onto a substrate and a method of making the exposure apparatus.

In addition, a third purpose of the present invention is to provide a method of manufacturing a highly integrated micro-device with high productivity.

#### Disclosure of the Invention

Under the above circumstance, the inventors of the present invention have conducted studies to realize such an exposure apparatus as satisfies as many of the above factors ([1] to [6]) as possible at the same time regardless of whether a planar motor is adopted as a stage driving source or not. Also, as a result, they have reached a conclusion that the objective can be achieved by leaving out a body (central column) that has been used in the previous exposure apparatuses, supporting respectively the reticle stage, the wafer stage, etc., to be dependent, and making it possible to control their positions/attitudes in six degrees of freedom to meet any requirement. With such a conclusion and further studies, they have thought of applying the above mechanism to the exposure apparatuses.

Then by elaborately examining the parallel mechanism (hereafter, referred to as a "parallel link mechanism"), it is found that although it can satisfy most of the factors, which the inventors intend, such as the movable portion being lightweight and having desirable operational-characteristics, high rigidity, and precision of positioning, there are some points to be improved because an oil cylinder is used as an active contraposition in a steward-platform, representative of parallel mechanisms.

According to the first aspect of the present invention, there is provided a parallel link mechanism comprising a base member; at least three expandable rods each including a first axis member and a second axis member that can relatively move in their axis direction; expansion mechanisms that are arranged in the respective rods and expand/contract the respective rods each by relatively driving the first axis member and the second axis member in the axis direction, each of which comprises a shaft motor that comprises a cylindrical mover integrally arranged in one of the first axis member and the second axis member, and a columnar stator integrally arranged in the other of the first axis member and the second axis member, and that relatively drives the first axis member and the second axis member in the axis direction by using thrust generated by electromagnetic interaction between the first axis member and the second axis member.

With this shaft motor, because a columnar or cylindrical magnet is used in its mover side or stator side, magnetic flux (magnetic field) is generated radially and in all directions, and the exposure apparatus can have the whole magnetic flux in all directions contribute to the generation of a driving force by an electromagnetic or magnetic interaction. Also, then much larger thrust can be generated compared with an usual linear motor, etc. and it is possible to make it smaller than a hydraulic cylinder, etc. In this case, either stator can be used, a hollow column or a solid column.

Therefore, by using the parallel link mechanism according to the present invention that comprises expansion mechanisms that are arranged in the respective rods and each comprise the shaft motor, which comprises a cylindrical mover integrally arranged in one of the first axis member and the second axis member, and a columnar stator integrally arranged in the other of the first axis member and the second axis member, and relatively drives the first axis member and the second axis member in the axis direction by using thrust generated by electromagnetic interaction between the first axis member and the second axis member, the miniaturization and lightening, and the improvement of the output can be realized at the same time. The parallel link mechanism according to the present invention is preferably applied to exposure apparatuses.

In the parallel link mechanism according to the present invention, the expansion mechanism can comprise an air cylinder arranged in parallel or in series with the shaft motor. In such a case, the movable body can be driven coarsely and by larger distances by controlling the air pressure of the air cylinder, and also finely by the shaft motor. Also, in this case, it is possible to use the air cylinder to expand/contract each rod for controlling the position/attitude of the movable body, to use the shaft motor to suppress vibrations, and to use the air cylinder for suppressing low-frequency vibrations and the shaft motor for insulating high-frequency vibrations.

According to the second aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus, which transfers a predetermined pattern onto a substrate, comprising a exposure main portion for transferring the pattern; and a parallel link mechanism that supports at least a part of the exposure main portion in such a way that its attitude is controllable.

By using this, because a part of the exposure main portion that transfers a predetermined pattern onto a substrate is supported by the parallel link mechanism in such a way that its attitude is controllable, the part of the exposure main portion supported by the parallel link mechanism can be made lightweight by using the advantages of the parallel link mechanism and its attitude can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity. In addition, because the part of the exposure main portion can be supported to be independent of other portions by the parallel link mechanism, the transmission of vibrations, etc., can be prevented. Especially, in a case where a movable portion of a substrate stage or the like composing the exposure main portion is supported by the parallel link mechanism, such effects to others as vibrations due to the drive of the movable portion can be reduced. Therefore, by using the exposure main portion according to the present invention, a fine pattern can be precisely transferred onto a substrate.

In an exposure apparatus according to the present invention, the exposure main portion comprises a substrate stage to hold the substrate and it is possible to have the parallel link mechanism control the position/attitude in at least three degrees of freedom of the substrate stage. In such a case, because the parallel link mechanism controls the position/attitude in at least three degrees of freedom of the substrate stage, the substrate stage driven by the parallel link mechanism can be made lightweight and the

position/attitude in at least three degrees of freedom of the substrate can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity.

In this case, the parallel link mechanism may comprise a first base member, at least three expandable first rods that link the first base member and the substrate stage, and first expansion mechanisms that are arranged in the respective first rods and expand/contract the respective first rods. In such a case, by expanding and contracting the respective rods by the first expansion mechanisms that are arranged in the respective first rods, the position/attitude, in at least three degrees of freedom (e.g. X, Y,  $\theta_z$ ), of the substrate stage can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity. In this case, because the substrate stage is driven by the parallel link mechanism, such a driver to drive the substrate stage as a linear motor, a stage base (wafer base level block) to support the wafer stage, and the like are unnecessary. Note that for controlling the position/attitude in six degrees of freedom of the substrate, it is necessary to provide a driving mechanism (e.g. Z-tilt mechanism), which drives the substrate in the other degrees of freedom (e.g. Z,  $\theta_x, \theta_y$ ), and the like on the substrate stage.

In this case, it is preferable that the parallel link mechanism comprises six of the first rods and controls position/attitude, in six degrees of freedom, of the substrate stage by expansion/contraction of each first rod. In such a case, because the position/attitude, in the six degrees of freedom, of the substrate stage can be controlled by individual expansions/contractions of the six first rods of the parallel link mechanism, the above Z-tilt mechanism, etc., are unnecessary and therefore, it is possible to make the substrate stage, as the movable portion, more lightweight.

In an exposure apparatus according to the present invention, the first expansion mechanism may comprise an air cylinder and an electromagnetic linear motor that are arranged in parallel or in series with each other. In such a case, the substrate stage can be driven coarsely and by larger distances by controlling the air pressure of the air cylinder, and also finely by the electromagnetic linear motor, and it is possible to precisely control the position/attitude, in at least three degrees of freedom, of the substrate stage for a short time.

In an exposure apparatus according to the present invention, the exposure main portion may comprise a projection optical system that projects the pattern onto the substrate as well as the substrate stage the position/attitude of which, in at least three

degrees of freedom, is controlled by at least three first rods. In this case, by individually expanding and contracting the first rods by the respective first expansion mechanisms and controlling the position/attitude, in at least three degrees of freedom, of the substrate stage, the relative position, in at least three degrees of freedom, between the projection optical system and the substrate stage can be precisely adjusted with desirable operational-characteristics and high rigidity.

In this case, the exposure main portion may further comprise a mask stage to hold the mask on which the pattern is formed and the parallel link mechanism may control the position/attitude in at least three degrees of freedom of the mask stage. In such a case, because the parallel link mechanism controls the position/attitude in at least three degrees of freedom of the mask stage, the mask stage driven by the parallel link mechanism can be made lightweight and the position/attitude in at least three degrees of freedom of the mask stage can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity and it is possible to adjust the relative position, in at least three degrees of freedom (e.g. X, Y,  $\theta_z$  or Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), between the mask stage and the projection optical system.

In this case, the parallel link mechanism may comprise a second base member, at least three expandable second rods that link the second base member and the mask stage, and second expansion mechanisms that are arranged in the respective second rods and expand/contract the respective second rods. In such a case, by expanding and contracting the respective rods by the second expansion mechanisms that are arranged in the respective second rods, the control of the position/attitude, in at least three degrees of freedom (e.g. X, Y,  $\theta_z$ ), of the mask stage and the adjustment of the relative position, in at least three degrees of freedom (e.g. X, Y,  $\theta_z$  or Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), between the mask stage and the projection optical system can be precisely performed with desirable operational-characteristics and high rigidity. In this case, because the mask stage is driven by the parallel link mechanism, such a driver to drive the mask stage as a linear motor, a stage base to support the mask stage, and the like are unnecessary. Note that for controlling the position/attitude in six degrees of freedom of the mask, it is necessary to provide a driving mechanism (e.g. a Z-tilt mechanism or a planar motor) or the like which drives the mask in the other degrees of freedom (e.g. Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  or X, Y,  $\theta_z$ ), on the mask stage.

In this case, it is preferable that the parallel link mechanism comprises six of the second rods and controls the position/attitude, in six degrees of freedom, of the mask stage by expansion/contraction of each second rod. In such a case, because the



position/attitude, in the six degrees of freedom, of the mask stage can be controlled by individual expansions/contractions of the six second rods of the parallel link mechanism, the above Z-tilt mechanism, planar motor, etc., are unnecessary, and therefore, it is possible to make the mask stage, as the movable portion, more lightweight.

In an exposure apparatus according to the present invention, in a case where the parallel link mechanism comprises at least three of the first rods expanded and contracted by the first expansion mechanisms to control the position/attitude of the substrate stage and at least three of the second rods expanded and contracted by the second expansion mechanisms to control the position/attitude of the mask stage, at least one of the first and second expansion mechanisms may comprise an air cylinder and an electromagnetic linear motor that are arranged in parallel or in series with each other. In such a case, at least one of the substrate stage and the mask stage can be driven coarsely and by larger distances by controlling the air pressure of the air cylinder, and also finely by the electromagnetic linear motor, and it is possible to precisely control the position/attitude, in at least three degrees of freedom, of at least one of the substrate stage and the mask stage and precisely adjust the relative position of at least one stage with respect to the projection optical system for a short time.

In this case, it is preferable that at least one of the first and second rods further comprises a bearing unit to support the mover of the electromagnetic linear motor with respect to its stator in a non-contact manner. In such a case, because friction that works as a non-linear component upon controlling the expansion/contraction of the rod having the bearing unit by the expansion mechanism can be avoided, the position/attitude, in three degrees of freedom, of at least one of the wafer stage and the mask stage can be more precisely controlled.

Note that in this case, either of a gas static pressure bearing unit and a magnetic bearing unit can be used as the bearing unit.

When a gas static pressure bearing unit is used as the bearing unit, it is preferable that a differential exhaust mechanism is arranged in its neighbor so that a gas supplied to the gas static pressure bearing unit does not contaminate the gas purity of the atmosphere inside the exposure apparatus.

In an exposure apparatus according to the present invention, the relative position between at least one of both the stages and the projection optical system may be statically

adjusted by using the air cylinder, and also a controller to suppress vibrations by using the electromagnetic linear motor may be provided. In such a case, it is possible to adjust the relative position between at least one of both the stages and the projection optical system and suppress vibrations due to expansion/contraction of each rod.

An exposure apparatus according to the present invention may further comprise a controller that insulates high-frequency vibrations by controlling the current of the electromagnetic linear motor. In such a case, fine vibrations from the floor surface, high-frequency vibrations, can be insulated.

An exposure apparatus according to the present invention may further comprise a supporting mechanism that supports the projection optical system to be in a fixed state on the floor surface on which the exposure main portion is mounted. In such a case, by having the supporting mechanism support it to be fixed immediately after the initial adjustment of the projection optical system to take a desirable position and attitude, the relative positions, in at least three degrees of freedom, of both the stages with respect to the projection optical system can be adjusted because it is possible to control the positions/attitudes, in at least three degrees of freedom, of the substrate stage and the mask stage.

In an exposure apparatus according to the present invention, in a case where the parallel link mechanism comprises the first and second base members, at least three of the first rods expanded and contracted by the first expansion mechanisms, and at least three of the second rods expanded and contracted by the second expansion mechanisms, the parallel link mechanism may further comprise a third base member, at least three expandable third rods that link the third base member and the projection optical system, and third expansion mechanisms that are arranged in the respective third rods and expand/contract the respective third rods. In such a case, by individually controlling expansion mechanisms arranged in the respective third rods upon the initial adjustment of the projection optical system, the initial adjustment can be easily performed. After the initial adjustment, by keeping the lengths of the respective third rods by the third expansion mechanisms, the projection optical system can be supported and fixed to be in a desirable position and attitude. After that, the relative position, in at least three degrees of freedom, between each stage and the projection optical system is adjusted by controlling the position/attitude of each stage.

In this case, the third expansion mechanism may comprise an air cylinder. In such a case, the initial adjustment of the position/attitude of the projection optical system can be easily performed by adjusting the inside pressure of the air cylinder.

In an exposure apparatus according to the present invention, the first, second, and third base members may each be an individual member, or at least two of the first, second, and third base members may be one common member. That is, the first, second, and third base members may be one common member, or the first and second base members, the second and third base members, or the first and third base members may be one common member.

In an exposure apparatus according to the present invention, it is possible to have the exposure main portion comprise a mask stage to hold a mask on which the pattern is formed and to make the parallel link mechanism control the relative position, in three degrees of freedom, of the mask stage. In such a case, because the parallel link mechanism controls the position/attitude, in at least three degrees of freedom, of the mask stage, it is possible to make the mask stage driven by the parallel link mechanism lightweight and the position/attitude, in at least three degrees of freedom (e.g. X, Y,  $\theta_z$  or Z,  $\theta_x, \theta_y$ ), of the mask stage can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity. Note that when the exposure main portion comprises the projection optical system, it is possible to adjust the relative position, in at least three degrees of freedom, between the mask stage and the projection optical system.

In this case, the parallel link mechanism may comprise a base member, at least three expandable rods that link the base member and the mask stage, and expansion mechanisms that are arranged in the respective second rods and expand/contract the respective rods. In such a case, by expanding and contracting the respective rods by the expansion mechanisms that are arranged in the respective rods, the control of the position/attitude, in at least three degrees of freedom (e.g. X, Y,  $\theta_z$ ), of the mask stage can be precisely performed with desirable operational-characteristics and high rigidity. In this case, because the mask stage is driven by the parallel link mechanism, such a driver to drive the mask stage as a linear motor, a stage base to support the mask stage, and the like are unnecessary. Note that for controlling the position/attitude in six degrees of freedom of the mask, it is necessary to provide a driving mechanism (e.g. a Z-tilt mechanism), which drives the mask in the other degrees of freedom (e.g. Z,  $\theta_x, \theta_y$ ), and the like on the mask stage.

In this case, it is preferable that the parallel link mechanism comprises six of the rods and controls the position/attitude, in six degrees of freedom, of the mask stage by expansion/contraction of each rod. In such a case, because the position/attitude, in the six degrees of freedom, of the mask stage can be controlled by individual expansions/contractions of the six rods of the parallel link mechanism, the above Z-tilt mechanism, planar motor, etc., are unnecessary, and therefore, it is possible to make the mask stage, as the movable portion, more lightweight.

In an exposure apparatus according to the present invention, it is possible to have the exposure main portion comprise a substrate stage to hold the substrate and a stage base to support the substrate stage in such a way that the substrate stage is movable, and to make the parallel link mechanism control relative position, in three degrees of freedom, of the first stage base. In such a case, by controlling the relative position, in three degrees of freedom, of the first stage base by the parallel link mechanism, the relative position, in three degrees of freedom (e.g.  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), of the substrate stage supported by the first stage base can be controlled. That is, without the Z-tilt mechanism mounted on the substrate stage, it is possible to perform a Z-tilt drive of the substrate, and therefore it is possible to make the substrate stage lightweight. In addition, it is possible to reduce driving force and driving reaction when driving the substrate stage on the first stage base by, e.g., a planar motor.

In this case, the parallel link mechanism may comprise a first base member, at least three expandable first rods that link the first base member and the first stage base, and first expansion mechanisms that are arranged in the respective first rods and expand/contract the respective first rods. In such a case, by individually expanding and contracting the respective first rods by the first expansion mechanisms that are arranged in the respective first rods, the position/attitude, in at least three degrees of freedom (e.g.  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), of the first stage base is controlled. As a result, the position/attitude, in at least three degrees of freedom, of the substrate stage can be precisely adjusted with desirable operational-characteristics and high rigidity.

In this case, the first expansion mechanism may comprise an air cylinder and an electromagnetic linear motor that are arranged in parallel or in series with each other. In such a case, the first stage base can be driven coarsely and by larger distances by controlling the air pressure of the air cylinder, and also finely by the electromagnetic linear motor, and as a result, it is possible to precisely control the position/attitude, in three degrees of freedom (e.g.  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), of the substrate stage for a short time.

In this case, in a case where the parallel link mechanism comprises a first base member, at least three expandable first rods that link the first base member and the first stage base, and first expansion mechanisms that are arranged in the respective first rods and expand/contract the respective first rods, the exposure main portion may further comprise the projection optical system that is supported independent from the first stage base and projects the pattern onto the substrate.

In such a case, as mentioned above, by individually expanding and contracting the respective first rods by the first expansion mechanisms, the position/attitude, in at least three degrees of freedom, of the substrate stage can be precisely controlled via the first stage base with desirable operational-characteristics and high rigidity. Therefore, as a result, the adjustment of the relative position, in at least three degrees of freedom (e.g.  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), between the projection optical system and the substrate, i.e. focus leveling control, can be precisely performed with desirable operational-characteristics and high rigidity. By making the substrate stage lightweight, it is possible to reduce driving force and driving reaction when driving the substrate stage on the first stage base by, e.g., a linear motor, and because the projection optical system is supported independent from the first stage base, the reaction to the drive of the substrate stage can be prevented from transmitting to the projection optical system. Also, it is easy to separate the substrate stage and the projection optical system.

In this case, the exposure apparatus may further comprise a position detector that is fixed on the projection optical system and detects the relative positional relation, in six degrees of freedom, between the substrate and the projection optical system. In such a case, because, as mentioned above, the reaction to the drive of the substrate stage can be prevented from transmitting to the projection optical system, it is possible to precisely detect the positional relationship, in six degrees of freedom, between the substrate and the projection optical system by the position detector fixed on the projection optical system.

When its exposure main portion comprises the substrate stage, the first stage base to support the substrate stage, and the projection optical system, an exposure apparatus according to the present invention may further comprise a supporting mechanism that supports the projection optical system to be in a fixed state on the floor surface on which the exposure main portion is mounted. In such a case, because the positions/attitudes, in three degrees of freedom, of the substrate stage is controllable, by initially adjusting the projection optical system to take a desirable position and attitude and having the

supporting mechanism support it to be fixed after the initial adjustment, the positional relationship, in three degrees of freedom, between the substrate and the projection optical system can be adjusted.

In an exposure apparatus according to the present invention, the exposure main portion may comprise a mask stage to hold a mask on which the pattern is formed and a second stage base to support the mask stage to be movable as well as the substrate stage, the first stage base to support this, and the projection optical system, and the parallel link mechanism may also control the position/attitude, in three degrees of freedom, of the second stage base. In such a case, the reaction to the drive of the substrate stage can be prevented from transmitting to the projection optical system, and by the parallel link mechanism controlling the position/attitude, in three degrees of freedom, of the second stage base, it is possible to precisely adjust the relative position and attitude, in three degrees of freedom (e.g.  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), between the mask and the projection optical system with desirable operational-characteristics and high rigidity. That is, without the  $Z$ -tilt mechanism mounted between the mask stage and the second stage base or on the substrate stage, it is possible to perform a focus-leveling of the mask stage by using the parallel link mechanism, and therefore, the degradation of the pattern image due to the defocus of the mask can be prevented. Especially, when the object side of the projection optical system is non-telecentric, the positional deviation of the pattern image and the like due to the defocus of the mask can be prevented, too. By making the mask lightweight, it is possible to reduce driving force and driving reaction when driving it on the second stage base by, e.g., a linear motor and prevent the reaction from transmitting to the projection optical system. Also, it is easy to separate the mask stage and the projection optical system.

In the exposure apparatus according to the present invention, in a case where the parallel link mechanism controls the relative position, in three degrees of freedom, between the mask stage and the projection optical system by controlling the position/attitude, in three degrees of freedom, of the second stage base, a position detector that is fixed on the projection optical system and detects the relative positional relation, in six degrees of freedom, between the mask stage and the projection optical system may be arranged. In such a case, because, as mentioned above, the reactions to the drives of the substrate stage and mask stage are prevented from transmitting to the projection optical system, it is possible to precisely detect the relative positional relation, in six degrees of freedom, between the mask stage and the projection optical system by the position detector fixed on the projection optical system.

In this case, the position detector may be an interferometer and a mirror, for detecting relative position in degrees of freedom  $X$ ,  $Y$ ,  $\theta_z$ , on which a measurement beam from the interferometer is made incident may be arranged on the mask stage, and a mirror, for detecting relative position in degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , on which another measurement beam from the interferometer is made incident may be fixed on the second stage base.

In this case, in a case where the parallel link mechanism also controls the position/attitude, in three degrees of freedom, of the second stage base, the parallel link mechanism may comprise a second base member, at least three expandable second rods that link the second base member and the second stage base, and second expansion mechanisms that are arranged in the respective second rods and expand/contract the respective second rods. In such a case, as mentioned above, it is possible to precisely adjust the relative position between the substrate and the projection optical system with desirable operational-characteristics and high rigidity, and the reaction to the drive of the substrate stage can be prevented from transmitting to the projection optical system. In addition, by individually expanding and contracting the respective second rods by the second expansion mechanisms that are arranged in the respective second rods, the position/attitude, in at least three degrees of freedom, of the second stage base is controlled. As a result, the relative position, in at least three degrees of freedom (e.g.  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), between the mask and the projection optical system can be precisely adjusted with desirable operational-characteristics and high rigidity. By making the substrate stage and the mask stage lightweight, it is possible to reduce driving force and driving reaction and to structure the substrate stage, the mask stage, and the projection optical system such that they can be easily separated.

In this case, the parallel link mechanism may comprise a third base member, at least three expandable third rods that link the third base member and the projection optical system, and third expansion mechanisms that are arranged in the respective third rods and expand/contract the respective third rods. In such a case, upon the initial adjustment of the projection optical system, by individually controlling the expansion mechanisms that are arranged in the respective third rods, the initial adjustment can be easily performed. After the initial adjustment, by keeping the lengths of the respective third rods by the third expansion mechanisms, the projection optical system can be supported and fixed to be in a desirable position and attitude. After that, the relative

position, in at least three degrees of freedom, between each stage and the projection optical system can be adjusted by controlling the position/attitude of each stage.

In this case, the third expansion mechanism may comprise an air cylinder. In such a case, the initial adjustment of the position/attitude of the projection optical system can be easily performed by adjusting the inside pressure of the air cylinder.

In an exposure apparatus according to the present invention, the first, second, and third base members, which are respectively connected to the first stage base, the second stage base, and the projection optical system respectively via the first, second, and third rods, may each be an individual member, or at least two of the first, second, and third base members may be one common member. That is, the first, second, and third base members may be one common member, or the first and second base members, the second and third base members, or the first and third base members may be one common member.

In an exposure apparatus according to the present invention, at least one of the first and second expansion mechanisms, which are respectively arranged in the first and second rods that respectively link the first and second stage bases with the first and second base members, may comprise an air cylinder and an electromagnetic linear motor that are arranged in parallel or in series with each other. In such a case, at least one of the first and second stage bases can be driven coarsely and by larger distances by controlling the air pressure of the air cylinder, and also finely by the electromagnetic linear motor, and as a result, it is possible to precisely control the position/attitude, in three degrees of freedom (e.g.  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), of at least one of the substrate stage and mask stage, and then precisely adjust the relative position and attitude, in three degrees of freedom (e.g.  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), of at least one of the substrate and mask with respect to the projection optical system, for a short time. That adjustment is a so-called focus-leveling.

In this case, it is preferable that at least one of the first and second rods further comprises a bearing unit that supports the mover of the electromagnetic linear motor with respect to its stator in non-contact manner. In such a case, because friction that works as a non-linear component upon controlling the expansion/contraction of the rod having the bearing unit by the expansion mechanism can be avoided, the position/attitude, in three degrees of freedom, of at least one of the wafer stage and the mask stage can be more precisely controlled via at least one of the first and second stage bases.



Note that in this case, either of a gas static pressure bearing unit and a magnetic bearing unit can be used as the bearing unit.

When a gas static pressure bearing unit is used as the bearing unit, it is preferable that a differential exhaust mechanism is arranged in its neighbor so that a gas supplied to the gas static pressure bearing unit does not contaminate the gas purity of the atmosphere inside the exposure apparatus.

In an exposure apparatus according to the present invention, the relative position between at least one of both the stages and the projection optical system may be statically adjusted by using the air cylinder, and also a controller to suppress vibrations by using the electromagnetic linear motor may be provided. In such a case, it is possible to adjust the relative position between at least one of both the stages and the projection optical system via at least one of the first and second stage bases and suppress vibrations due to expansion/contraction of each rod.

An exposure apparatus according to the present invention may further comprise a controller that insulates high-frequency vibrations by controlling the current of the electromagnetic linear motor while low-frequency vibrations are suppressed by the control of the air pressure of the air cylinder. In such a case, low-frequency vibrations generated in each stage base due to the reaction to its drive are suppressed, and besides, fine vibrations from the floor surface, high-frequency vibrations, can be insulated.

In an exposure apparatus according to the present invention, a plurality of stages may be mounted on at least one of the first and second stage bases. For example, in a case where a plurality of stages, i.e. substrate stages, are mounted on the first stage base, because exchange of substrates, detection of alignment marks of a substrate, or the like on another substrate stage can be performed during exposure for a substrate on one substrate stage, the throughput can be improved compared with the case of a single substrate stage. Furthermore, for example, in a case where a plurality of stages, i.e. mask stages, are mounted on the second stage base, because the exchange of masks is performed by exchanging the positions of the mask stages, it is possible to perform multi-exposure such as double exposure using a plurality of masks with a higher throughput. Especially, in a case where a plurality of the substrate stages and mask stages are provided, because exchange of substrates, detection of alignment marks of a substrate or the like on another substrate stage can be performed during multi-exposure for a substrate

on one substrate stage, multi-exposure such as double exposure using a plurality of masks can be performed with a higher throughput.

In an exposure apparatus according to the present invention, the exposure main portion may comprise a mask stage to hold the mask on which the pattern is formed and a stage base to support the mask stage in such a way that the mask stage is movable, and the parallel link mechanism may control the position/attitude, in three degrees of freedom, of the stage base. In such a case, by the parallel link mechanism controlling the position/attitude, in three degrees of freedom, of the stage base, the position/attitude, in three degrees of freedom, of the mask can be precisely adjusted with desirable operational-characteristics and high rigidity. By making the mask stage lightweight, it is possible to reduce driving force and driving reaction when driving it on the stage base by, e.g., a linear motor.

In this case, the parallel link mechanism may comprise a base member, at least three expandable rods that link the base member and the stage base, and expansion mechanisms that are arranged in the respective rods and expand/contract the respective rods. In such a case, it is possible to precisely adjust the relative position, in at least three degrees of freedom (e.g.  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ), of the mask stage with desirable operational-characteristics and high rigidity by individually expanding and contracting the respective rods by the expansion mechanisms that are arranged in the respective rods and controlling the position/attitude, in at least three degrees of freedom, of the stage base. Also, by making the mask stage lightweight, it is possible to reduce driving force and driving reaction of each stage.

An exposure apparatus according to the present invention may comprise a chamber to contain at least one part of the exposure main portion in a state where it is sealed from the outside atmosphere and its attitude is allowed to change. In such a case, it is possible to make a part of the exposure main portion, which is supported by the parallel link mechanism, lightweight by using the advantages of the parallel link mechanism, and its attitude can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity. Furthermore, because the chamber contains at least one part of the exposure main portion in a state where it is sealed from the outside atmosphere and its attitude is allowed to change, by filling the chamber with nitrogen gas ( $N_2$ ), helium gas (He) or the like it is possible to transfer a fine pattern onto a substrate with high resolution using ArF excimer laser light or vacuum ultraviolet light such as  $F_2$  laser light, whose wavelength is shorter than ArF light.

In this case, it is preferable that a vacuum exhaust system and a gas supply system to purge non-active gas into the chamber are arranged in the exposure apparatus. In such a case, by having a gas inside the chamber exhausted by a vacuum exhaust system and having a non-active gas such as nitrogen gas (N<sub>2</sub>) and helium gas (He) supplied by a gas supply system, the gas inside the chamber is replaced by the non-active gas at once and the inside pressure is set to be at a desirable value.

In a case where the exposure main portion comprises the substrate stage and the first stage base to support it, the projection optical system, the mask stage and the second stage to support it, and the parallel link mechanism to adjust the positions/attitudes, in three degrees of freedom, of the first and second stage bases, an exposure apparatus according to the present invention may further comprise a chamber that comprises a first room to contain the mask stage and include the second stage base as a part, a second room to contain the projection optical system, a third room to contain the substrate stage and include the first stage base as a part, and expandable, bellows-members, which respectively link the first room and the second room, and the second room and the third room, and seals the substrate stage, the optical projection system, and the mask stage from the outside atmosphere. In such a case, the third room, which includes the first stage base as a part, contains the substrate stage; a second room contains the projection optical system; a first room, which includes the second stage base as a part, contains the mask stage; and expandable, bellows-members link the first room, the second room, and the third room. Therefore, it is possible to adjust the positions/attitudes, in three degrees of freedom, of the first and second stage bases by the parallel link mechanism without any problem. Also, the substrate stage, the optical projection system, and the mask stage are sealed from the outside atmosphere. Therefore, by filling the inside of the chamber with nitrogen gas (N<sub>2</sub>), helium gas (He) or the like, it is possible to transfer a fine pattern onto a substrate with high resolution using ArF excimer laser light or vacuum ultraviolet light such as F<sub>2</sub> laser light, whose wavelength is shorter than ArF light.

In this case, it is preferable that a vacuum exhaust system and a gas supply system to purge non-active gas into the chamber are arranged in the exposure apparatus. In such a case, by having a gas inside the chamber exhausted by a vacuum exhaust system and having a non-active gas such as nitrogen gas (N<sub>2</sub>) and helium gas (He) supplied by a gas supply system, the gas inside the chamber is replaced by the non-active gas at once and the inside pressure is set to be at a desirable value.

According to the third aspect of the present invention, there is provided a first method of making an exposure apparatus to transfer a pattern of a mask onto a substrate, comprising a first step of providing an mask stage to hold the mask; a second step of providing an optical projection system to transfer a pattern of the mask onto a substrate; a third step of providing a substrate stage to hold the substrate; and a fourth step of providing a parallel link mechanism to support at least one of the mask stage and the substrate stage in such a way that relative position, at least three degrees of freedom, of at least one of the mask stage and the substrate stage with respect to the optical projection system.

According to this, by assembling and adjusting the illumination optical system, the projection optical system, the mask stage and substrate stage, the parallel link mechanism to support at least one of the mask stage and the substrate stage in such a way that relative position, at least three degrees of freedom, of at least one of the mask stage and the substrate stage with respect to the optical projection system are controllable, and other various elements mechanically, optically, and electrically, an exposure apparatus according to the present invention can be made.

According to the fourth aspect of the present invention, there is provided a second method of making an exposure apparatus to transfer a pattern of a mask onto a substrate, comprising a first step of providing an mask stage to hold the mask; a second step of providing an optical projection system to transfer a pattern of the mask onto a substrate; a third step of providing a substrate stage to hold the substrate; a fourth step of providing a first stage base to support the mask stage to be movable; a fifth step of providing a second stage base to support the substrate stage to be movable; and a sixth step of providing a parallel link mechanism to support at least one of the first and second stage bases in such a way that relative position, at least three degrees of freedom, of at least one of the first and second stage bases with respect to the optical projection system is controllable.

According to this, by assembling and adjusting the illumination optical system, the projection optical system, the mask stage and substrate stage, the first stage base to support the substrate stage to be movable, the second stage base to support the mask stage to be movable, the parallel link mechanism to support at least one of the first and second stage bases in such a way that relative position, at least three degrees of freedom, of at least one of the first and second stage bases with respect to the optical projection system is controllable, and other various elements mechanically, optically, and electrically, an exposure apparatus according to the present invention can be made.

In addition, in the lithography process, by performing exposure using an exposure apparatus according to the present invention, it is possible to form a multi-layer pattern on the substrate with high precision of superposition, and therefore it is possible to manufacture a more highly integrated micro device with high yield. Therefore, another aspect of the present invention is a method of manufacturing a device using an exposure apparatus according to the present invention.

#### Brief Description of the Drawings

FIG. 1 is a schematic view showing the arrangement of an exposure apparatus according to the first embodiment;

FIG. 2 is a planar view showing the structure, some parts of which are not shown, of the parallel link mechanism of FIG. 1;

FIG. 3 is a cross-sectional view showing the first rod 78<sub>1</sub>, of FIG. 1, some part of which is not shown;

FIG. 4 is a schematic view showing the structural model of a driving system so as to explain the principle of the control of a parallel link mechanism in an exposure apparatus according to the first embodiment;

FIG. 5 is a block diagram showing a control model for the driving system of FIG. 4;

FIG. 6 is a view showing a relation between a stationary coordinate and a rod coordinate;

FIG. 7 is a view for explaining the rod's structural model of FIG. 4 and reactions exerted on the rod and a driven body;

FIG. 8 is a block diagram showing the structure of a control system of an exposure apparatus according to the first embodiment;

FIG. 9 is a schematic view showing the structure of an exposure apparatus according to the second embodiment;

FIG. 10 is an oblique view showing the first parallel link mechanism of FIG. 9;

FIG. 11 is a planar view showing a wafer laser interferometer system to detect the position, in X-Y plane, of the wafer stage of FIG. 9;

FIG. 12 is a schematic view showing the structural model of a driving system so as to explain the principle of the control of a parallel link mechanism in an exposure apparatus according to the second embodiment;

FIG. 13 is a view showing a state that the wafer stage is driven in X-axis direction by the first parallel link mechanism;

FIG. 14 is a view showing a state that the wafer stage is driven in Z-axis direction by the first parallel link mechanism;

FIG. 15 is a view showing a state that the rolling of the wafer stage is controlled by the first parallel link mechanism;

FIG. 16 is a view showing a state that the yawing of the wafer stage is controlled by the first parallel link mechanism;

FIG. 17 is a block diagram showing the structure of a control system of an exposure apparatus according to the second embodiment;

FIG. 18 is a flow chart for explaining a method of manufacturing a device using an exposure apparatus according to the present invention;

FIG. 19 is a flow chart showing the process of the wafer process step (step 204) of FIG. 18;

#### Preferred Embodiment of the Present Invention

##### First Embodiment

A first embodiment of the present invention will be described below with referring to FIGS. 1 to 8.

FIG. 1 shows the schematic arrangement of an exposure apparatus 10 according to an embodiment. The exposure apparatus 10 is a so-called step-and-scan type scanning exposure apparatus that while illuminating the reticle R as a mask with exposure illumination light EL that is vacuum-ultraviolet, synchronously moves reticle R and wafer W as a substrate in a scanning direction (hereafter, defined to be Y-direction that is the lateral direction in FIG. 1) and transfers a pattern on the reticle R onto a plurality of shot areas on the wafer W through a projection optical system PL. This exposure apparatus 10 is a so-called scanning stepper.

This exposure apparatus 10 includes an illumination optical system IOP that illuminates the reticle R with the exposure illumination light EL from a light source (not shown), a reticle stage RST serving as a mask stage for holding the reticle, a projection optical system PL for projecting the exposure illumination light EL sent out from the reticle R onto a wafer W, and a wafer stage WST serving as a substrate stage for holding and moving the wafer W in X-Y two dimensional direction.

The above illumination optical system IOP is supported by an illumination-system supporting member (not shown). This illumination optical system IOP includes an illumination-system housing that makes the inside airtight from the atmosphere and is filled with a low-absorbing gas, which is so clean and non-active as to include a few or

less than a few percent concentration of air (oxygen), or desirably less than one percent, and low in the absorption of light having the wavelength of vacuum ultraviolet, such as dry nitrogen ( $N_2$ ), helium (He), argon (Ar), neon (Ne), and krypton (Kr) or a gas in which those gases are mixed. This is because, in the case of using light having the wavelength of vacuum ultraviolet as exposure illumination light, a gas (hereafter, referred to as an "absorptive gas" as the need arises) such as oxygen, steam, and hydrocarbon or related gas, which greatly absorbs light having such a wavelength, has to be removed from the optical path. The inside of the illumination system housing is filled with the non-active gas mentioned above (hereafter, referred to as a "low absorptive gas" as the need arises) and kept to have a one to ten percent higher pressure than the air.

The illumination system housing houses, as disclosed in, for example, Japanese Patent Laid-Open No. 7-142354 and U.S. Pat. No. 5,534,970 corresponding thereto, etc., a beam reshaping system, a fly-eye lens as an optical integrator, a vibration mirror, a collective lens system, a relay lens, a reticle blind mechanism, a main condenser-lens system, etc. in a predetermined arrangement. The above disclosures are incorporated herein by this reference as long as the national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit.

At the backside of the FIG. 1 of the illumination optical system IOP, a fret optical system including an optical system for optical axis adjustment that is called a beam matching unit is connected with at least one portion of the illumination optical system IOP, and via the fret optical system a light source (not shown) arranged on a floor surface FD is connected. As this light source, for example, a light source to emit light, of which the wavelength is in the range of about 120 nm to about 180 nm and belongs to vacuum ultraviolet region, such as fluorine laser of 157 nm as the oscillation wavelength ( $F_2$  laser), krypton dimer laser of 146 nm ( $Kr_2$  laser) and argon dimer laser of 126 nm ( $Ar_2$  laser) is employed. Note that ArF excimer laser, etc., can also be used as the light source. A light source controller (not shown) is connected with this light source and controls the oscillation center wavelength of a pulse ultraviolet light emitted from the source, the trigger of the pulse oscillation, a gas inside the laser chamber, etc.

A slit-like illumination area on the reticle R that is defined by a fixed reticle blind (fixed field stop) is illuminated with uniform illuminance by the illumination optical system IOP. In this case, the slit-like illumination area is set to be in the center of a circular projection field of the projection optical system PL shown in FIG. 1 and extend

in the X-direction (non-scanning direction) with the width in Y-direction (scanning direction) being almost constant.

Incidentally, this light source could be installed in a utility space provided on the floor of a room (service room), having lower cleanness than a clean room, or the clean room.

The above reticle stage RST is levitated above the upper surface of a reticle base level block 12, having a triangle shape in a planar view and serving as a second stage-base, with a predetermined clearance, for example, of about 5  $\mu\text{m}$  via a non-contact bearing (not shown; for example an air-pad). This reticle stage RST is scanned in the Y-direction, the scanning direction, within a predetermined stroke range and can be finely moved on a horizontal plane (X-Y plane) by a reticle driver 14 (not shown in FIG. 1; refer to FIG. 8) including a linear motor, etc. The reticle R is fixed on this reticle stage RST by vacuum chucking or electrostatic chucking.

On the upper surface of the reticle base level block 12, a bulkhead 16 having a rectangular opening 16a, which is reduced in size from the reticle R, formed thereon is provided. Also, this bulkhead 16 and the reticle stage base 12 compose a reticle room 18 as a first room to house the reticle stage. The bulkhead 16 is made of a material, which does not emit a large amount of gas, such as stainless (SUS). The upper end of the bulkhead 16 is connected to the emitting end of the illumination system housing by bellows-like member 20 such that its inside is sealed from the outside air, the member 20 being expandable and being made of fluorine rubber that is a chemically clean material.

On the emitting end of the illumination system housing, a transmission window (not shown) is arranged such that it seals the inside space of the illumination system housing from that of the reticle room 18. This transmission window is arranged in the optical path of exposure illumination light EL that is incident on reticle R from the illumination optical system IOP, thereby being made of a crystal material, which has high transmittance against vacuum ultraviolet as exposure illumination light, such as fluorite.

On the reticle base level block 12, a rectangular opening, in the cross-sectional view, that is the path of the exposure illumination light EL having passed the reticle R is formed. On the reticle base level block 12, an opening 12a, which is vertically penetrating and has a supporting member for a reticle laser interferometer (described



later) inserted therein, is also formed. Incidentally, the supporting mechanism and the like of the reticle base level block 12 will be described later.

The position of the reticle stage RST in the X-Y plane (X position, Y position, and rotation around Z-axis ( $\theta_z$  rotation)) is measured with a predetermined resolution, for example about 0.5 to 1 nm, via a movable mirror 22R fixed on the reticle stage RST by the reticle laser interferometer 24R. In practice, on the reticle stage RST, a X-movable-mirror having a reflection surface perpendicular to the X-direction and a Y-movable-mirror having a reflection surface perpendicular to the Y-direction are arranged, and two reticle interferometers 24Ry<sub>1</sub>, 24Ry<sub>2</sub> for measuring the position in the Y-direction and a interferometer 24Rx for measuring the position in the X-direction are arranged (refer to FIG. 8). In FIG. 1, those are representatively shown by the movable mirror 22R and the reticle laser interferometer 24R.

The bottom ends of the reticle laser interferometer 24R, that is, interferometers 24Ry<sub>1</sub>, 24Ry<sub>2</sub>, 24Rx are fixed on the upper portion of the lens-barrel of the projection optical system PL, and the upper ends of those are respectively fixed via the opening 12a and similar openings (not shown) to the upper ends of three supporting members 26 that are exposed on the reticle base level block 12.

The measurement values of the reticle laser interferometer 24R, that is, interferometers 24Ry<sub>1</sub>, 24Ry<sub>2</sub>, 24Rx are supplied to the stage controller 52 and then to the main controller 50 (refer to FIG. 8). In the stage controller 52, according to the average of the measurement values of the interferometers 24Ry<sub>1</sub>, 24Ry<sub>2</sub> the Y position of the reticle stage RST is calculated, according to the difference of those measurement values and the distances between the axes of the interferometers the  $\theta_z$  rotation is calculated, and according to the average of the measurement values of the interferometers 24Rx the X position of the reticle stage RST is calculated. The stage controller 52 reports those results of the calculations to the main controller 50 in real time.

Furthermore, a reflection mirror 28 is fixed to the bottom surface of the reticle base level block 12 and a reticle base interferometer 30 to measure the Z position of the reflection mirror 28 is disposed on a predetermined position around the periphery of the upper end of the projection optical system PL. Incidentally, in practice, on the bottom surface of the reticle base level block 12, reflection mirrors are fixed to three different position, and a first interferometer 30<sub>1</sub>, a second interferometer 30<sub>2</sub>, and a third interferometer 30<sub>3</sub> are respectively arranged on three positions around the periphery of the

upper end of the projection optical system corresponding to the three mirrors (refer to FIG. 8). In FIG. 1, those are representatively shown by a reflection mirror 28 and a reticle base interferometer 30. The first interferometer 30<sub>1</sub>, the second interferometer 30<sub>2</sub>, and the third interferometer 30<sub>3</sub> respectively measure the Z positions of three reflection mirrors. The measurement values of these three interferometer 30<sub>1</sub>, 30<sub>2</sub>, and 30<sub>3</sub> are supplied to the stage controller 52 and then the main controller. The stage controller 52 calculates the Z position,  $\theta_x$  rotation (pitching), and  $\theta_y$  rotation (rolling) by performing a predetermined computing on the basis of the measurement values of the three interferometer 30<sub>1</sub>, 30<sub>2</sub>, and 30<sub>3</sub>. These results are reported from the stage controller 52 to the main control 50 in real time.

In the projection optical system PL, an optical system comprising a lens and a reflection mirror made of fluoride crystal such as fluorite and lithium fluoride is supported by the lens-barrel. In this embodiment, as this projection optical system PL, a reduction system is employed which has, for example, a circular image field and of which the object plane side and image plane side are both telecentric and the reduction magnification  $\beta$  is, e.g. 1/4 or 1/5. As this projection optical system, although a refraction optical system may be used which is composed of only lenses made of fluoride crystal, in this embodiment a reflection/refraction-type projection optical system (catadioptric system) is employed. By using an scanning exposure apparatus comprising such a reflection/refraction-type projection optical system, it is possible to precisely transfer a fine pattern of about 100 nm L/S pattern onto wafers even with F<sub>2</sub> laser light having, for example, the wavelength of 157 nm as exposure light. Note that an optical system composed of only reflection optical elements may be used as the projection optical system.

As the reflection/refraction-type projection optical system, a reflection/refraction system comprising a beam splitter and a concave mirror as reflection optical elements, which is disclosed in, for example, Japanese Patent Laid-Open No. 8-171054 and U.S. Pat. No. 5,668,672 corresponding thereto, and Japanese Patent Laid-Open No. 10-20195 and U.S. Pat. No. 5,835,275 corresponding thereto, can be used, or a reflection/refraction system comprising not a beam splitter but a concave mirror, etc., as reflection optical elements, which is disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 8-334695 and U.S. Pat. No. 5,689,377 corresponding thereto, and Japanese Patent Laid-Open No. 10-3039 and U.S. Pat. No. 873,605 (application date: Jun. 12, 1997) corresponding thereto, can be employed. The disclosures in the above Japanese Patent Laid-Opens, U.S. patent, and U.S. patent application are incorporated herein by this reference as long as the national

laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit.

As the reflection/refraction-type projection optical system, also a reflection/refraction system can be employed which comprises a plurality of refraction optical elements and two mirrors (a main mirror being a concave mirror and a sub-mirror that is a back surface mirror of which the reflection surface is formed on the opposite side to the incident surface of a refraction element or plane parallel plate) that are disposed along one axis and has the intermediate image of a reticle pattern again imaged on a wafer using the main mirror and sub-mirror, and is disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 10-104513 and U.S. Pat. No. 5,488,229 corresponding thereto. In this reflection/refraction system, the main mirror and sub-mirror are disposed in series with the plurality of refraction optical elements, and an illumination light passes through a portion of the main mirror, is reflected by the sub-mirror and the main mirror in turn, passes through a portion of the sub-mirror and reaches the wafer. The disclosures in the above Japanese Patent Laid-Opens and U.S. patent are incorporated herein by this reference as long as the national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit.

In this embodiment, as described above, as a projection optical system, because the reduction optical system of the reduction magnification  $\beta$ , e.g. 1/4 or 1/5, is employed, when the reticle R is illuminated with the exposure illumination light EL from the illumination optical system IOP, the reduced image (partially inverted image) of a circuit pattern in the slit-like illumination area on the reticle is formed on the exposure area, conjugate with the slit-like illumination area, on the wafer.

Like the present embodiment, in an exposure apparatus using an exposure wavelength of vacuum ultraviolet, also a gas inside the lens-barrel of the projection optical system PL has to be replaced by the above non-active gas (low absorptive gas) to avoid the absorption of the exposure illumination light by an absorptive gas such as oxygen. Therefore, in the present embodiment, the inside of the lens-barrel of the projection optical system PL is filled with the above non-active gas, and the pressure of the inside is set to be at the predetermined value. The method in which the gas inside the lens-barrel of this projection optical system PL is replaced with the above non-active gas will be described later.

On a position somewhat below the center, in the vertical direction, of the lens-barrel of the projection optical system PL, a flange FLG is provided. The whole lens-barrel including the flange FLG is covered by a bulkhead made of a material, which does not emit a large amount of gas, such as stainless (SUS), and a lens room 32 serving as a second room to accommodate the projection optical system PL is formed by this bulkhead. In a portion of the ceiling of the bulkhead forming the lens room 32, an opening is formed, and the outside of the opening is connected to the reticle base level block 12 through an expandable bellows-like member 34, which is made of fluorine-contained rubber, in the state where the inside is sealed from the atmosphere. Moreover, in the bottom wall of the bulkhead forming the lens room 32, an opening, which is the path for the exposure illumination light EL projected from the projection optical system PL to the wafer W, is formed. The outside of the opening is connected to a bulkhead forming a wafer room (described later) through an expandable bellows-like member 36, which is made of fluorine-contained rubber, in the state where the inside is sealed from the atmosphere.

On a wafer base level block 38 that is triangle, in a planar view, and serves as a first stage base, the above wafer stage WST is freely driven in the X-Y plane by a wafer driver 40 (not shown in FIG. 1; refer to FIG. 8) composed of a magnetic-levitation-type two-dimensional linear actuator (planar motor) that is disclosed in, for example, U.S. Pat. No. 519,745, etc. The disclosure in the above U.S. patent is incorporated herein by this reference as long as the national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit.

The wafer W is fixed on this wafer stage WST by vacuum chucking or electrostatic chucking (both are not shown).

A bulkhead 42 on which an opening of a predetermined shape is formed is arranged on the wafer base level block 38 and a wafer room 44 serving as a third room to accommodate the wafer stage WST is formed by the bulkhead 42 and the wafer base level block 38. The bulkhead 42 is made of a material, which does not emit a large amount of gas, such as stainless (SUS). Furthermore, as described above, the upper end of the bulkhead 42 is connected to the bottom end of the lens room 32a through the expandable bellows-like member 36 in the state where the inside is sealed from the atmosphere. The supporting mechanism, etc., of the wafer base level block will be described later.

In the present embodiment, a chamber 46 isolating the wafer stage WST, the projection optical system PL, and the reticle stage RST from the atmosphere is composed of the reticle base level block 12 and the bulkhead 18 that compose the reticle room 18, a bulkhead composing the lens room 32, the wafer base level block 38 and the bulkhead 42 that compose the wafer room 44, the bellows-like member 36 connecting the lens room 32 and the reticle room 18, and the bellows-like member 20 connecting the reticle room 18 and the illumination optical system IOP (refer to FIG. 1). Like the present embodiment, in the case of employing light having a wavelength in ultraviolet region as the exposure illumination light, the above absorptive gas such as oxygen has to be removed from the optical path. Therefore, the inside of the chamber 46, that is, the reticle room 18, the lens room 32, and the wafer room 44 is filled with a low absorptive gas, for example helium, to set the inside pressure at a predetermined value.

This will be elaborated below. One end of a first pipe 48 made of a flexible tube is connected to the bulkhead 16 of the reticle room 18 composing the chamber 46 and the other end of the first pipe 48 is connected to the discharge opening of a helium gas supplier (hereafter, referred to as a "gas supplier") 54, and the one end of a second pipe 56 made of a flexible tube is connected to the bulkhead of the wafer room 44 composing the chamber 46, and the other end of the second pipe 56 is connected to the inflow opening of a channel switching unit 58 comprising the channel switching valve (three way valve) composed of an electromagnetic valve. The first outflow opening of this channel switching unit 58 is connected with the return opening of the gas supplier 54 via a third pipe 60. Furthermore, the second outflow opening of this channel switching unit 58 is connected with a turbo molecular pump 66 and then a dry pump 68 via pipes 62, 64.

The above gas supplier 54 has a gas container containing helium gas that is so clean as to contain less than one percent concentration of oxygen. First and second pumps are provided respectively on the discharge opening side (exit side) and return opening side (entrance side) of the gas container. A temperature adjustment unit (not shown) controls the helium gas inside the gas container to be kept at a predetermined target temperature. Moreover, a chemical filter, air filter, etc., are arranged around the return opening.

The method of replacing the gas (air) inside the chamber 46 with helium will be briefly described below. Note that the operation described below is performed while the main controller 50 (refer to FIG. 8) described later is monitoring the output, etc., of a pressure sensor (not shown).

First, the channel switching valve inside the channel switching unit 58 is switched to the side of the turbo molecular pump 66, and then the dry pump 68 is turned on to vacuum the inside of the chamber 46. Next, after the inside of the chamber gets to be at a predetermined first vacuum state, the turbo molecular pump 66 is turned on and simultaneously the dry pump 68 is turned off to further vacuum the inside of the chamber 46. After the inside of the chamber 46 gets to be at a predetermined second vacuum state of, e.g., less than 0.1 hPa, the channel switching valve inside the channel switching unit 58 is switched to the side of the gas supplier 54 and simultaneously the turbo molecular pump 66 is turned off. By the above lowering of the pressure, the absorptive gas such as oxygen is removed from the inside of the chamber 46.

Next, a charging valve (not shown) in the gas supplier is opened and simultaneously the first pump is turned on to start the supply of helium gas from the gas supplier 54 to the chamber 46. Then after the pressure inside the chamber 46 reaches the predetermined value after a predetermined time since the start of the supply, the charging valve is closed and simultaneously the first valve is turned off.

In such a way, the replacement of gases inside the chamber 46 is performed, and the inside of the chamber 46, more specifically, the reticle room 18, the lens room 32, the wafer room 44, and the inside of the lens-barrel of the projection optical system PL is filled with helium.

Note that in the present embodiment, as is obvious seeing FIG. 1, the supply system of helium gas is a circulation system having the circulating path for helium gas and is economical. In this case, there is a high possibility of helium gas, which returns to the returning opening of the gas supplier 54, containing particles or chemical impurities, but as described above, the chemical filter, air filter, etc., arranged around the returning opening remove them, and highly clean helium gas, which is chemically clean and has almost no particles, returns to the inside of the gas container.

The position of the wafer stage WST in the X-Y plane (X position, Y position, and  $\theta_z$  rotation) is measured with a predetermined resolution, for example about 0.5 to 1 nm, via a movable mirror 22W fixed on the wafer stage WST by the wafer laser interferometer 24W that is suspended from and supported by a supporting member 70 below the lens-barrel of the projection optical system PL.

Incidentally, a reflection surface may be formed on a predetermined portion of the upper surface of the wafer base level block 38 by performing mirror-process and a wafer base interferometer for measuring the Z position of the reflection surface may be fixed on the lower side of the wafer laser interferometer 24W.

In this case, in practice, on the wafer stage WST, a X movable mirror having a reflection surface perpendicular to the X-axis and a Y movable mirror having a reflection surface perpendicular to the Y-axis are arranged, and two wafer interferometers 24Wy<sub>1</sub>, 24Wy<sub>2</sub> for measuring the position in the Y-direction and a interferometer 24Wx for measuring the position in the X-direction are arranged (refer to FIG. 8). The measurement values of the wafer laser interferometer 24W, that is, interferometers 24Wy<sub>1</sub>, 24Wy<sub>2</sub>, 24Wx are supplied to the stage controller 52 and then to the main control 50 (refer to FIG. 8). In the stage controller 52, according to the average of the measurement values of the interferometers 24Wy<sub>1</sub>, 24Wy<sub>2</sub> the Y position of the wafer stage WST is calculated; according to the difference of those measurement values and the distances between the axes of the interferometers the  $\theta_z$  rotation is calculated; and according to the average of the measurement values of the interferometers 24Wx the X position of the wafer stage WST is calculated. The stage controller 52 reports those results of the calculations to the main controller 50 in real time.

Meanwhile, the z direction position of the wafer with respect to the projection optical system as a reference is measured by a focus sensor 73 that is fixed on the lens-barrel of the projection optical system PL and uses an oblique incident-light method. This focus sensor 73 is, as shown in FIG. 1, composed of a sending light system 73a, which is fixed on the periphery of the lens-barrel of the projection optical system and illuminates the surface of the wafer W with a detection beam in a oblique direction, and a receiving light system 73b, which is fixed on the periphery of the lens-barrel of the projection optical system and receives the detection beam reflected by the surface of the wafer W. In this case, the sending light system 73a and the receiving light system 73b are both so disposed that they form an angle of 45 degrees with respect to the X-axis and Y-axis. As this focus sensor, a multiple focal position detection system is employed which is disclosed in, for example, Japanese Patent Laid-Open No. 6-283403 and its corresponding U.S. Pat. No. 5,448,332. The disclosures in the above Japanese Patent

Laid-Opens and U.S. patent are incorporated herein by this reference as long as the national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit. Note that this focus sensor 73 (73a, 73b) are integrally fixed on the projection optical system PL.

The output of this focus sensor 73 is supplied to the stage controller 52 and the stage controller 52 calculates the relative position, in  $Z$ ,  $\theta_x$ , and  $\theta_y$  directions, of the wafer  $W$  with respect to the projection optical system, more specifically, the  $z$  position (the amount of defocus), and  $\theta_x$  rotation (the amount of pitching) and  $\theta_y$  rotation (the amount of rolling) of a target in the exposure area of the wafer's surface on the basis of the output of this focus sensor 73. These calculation results, which are focus-leveling measurement results of the target in the wafer  $W$ 's exposure area are reported from the stage controller 52 to the main control 50 in real time.

Next, the respective supporting mechanisms of the above reticle base level block 12, the projection optical system PL, and the wafer base level block 38 will be described below. As this supporting mechanism, in the present embodiment, a parallel link mechanism 74 is employed. FIG. 2 is a planar view that shows some of its elements composing the parallel link mechanism 74. Incidentally, FIG. 1 is a cross-sectional view along A--A line in FIG. 2.

The parallel link mechanism 74 comprises a first mechanism that controls the position and attitude, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the wafer base level block 38, a second mechanism that controls the position and attitude, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the reticle base level block 12, and a third mechanism that controls the position and attitude, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the projection optical system PL.

Out of these mechanisms, the first mechanism has three first base members 76<sub>1</sub>, 76<sub>2</sub>, 76<sub>3</sub> (refer to FIG. 2) placed around respective vertices of an equilateral triangle and three expandable first rods 78<sub>1</sub>, 78<sub>2</sub>, 78<sub>3</sub> that respectively link the first base members 76<sub>1</sub>, 76<sub>2</sub>, 76<sub>3</sub> with the wafer base level block 38.

These first rods 78<sub>1</sub>, 78<sub>2</sub>, 78<sub>3</sub>, as shown in FIG. 1, each have a first axis member 79 and a second axis member 80 that can relatively move along their axis-direction, and the one end (lower end) of the first axis member 79 is attached to the corresponding first base member 76 so as to be rotatable around a supporting spindle 81 composed of a bolt or pin, and then the other end (upper end) of the second axis member 80 is attached to the wafer base level block 38 so as to be rotatable in the same way as the above.



FIG. 3 shows the cross section (partially omitted) of the first rod 78<sub>1</sub>. As shown in FIG. 3, inside the first axis member 79, a cavity 82 that is shaped like a cylinder with steps is formed, and in one end (left side in FIG. 1) of the inside of this cavity 82 a bellows-type air cylinder 84 is contained. This air cylinder 84 has an end of a pipe 86, which is one portion of an air pressure circuit (not shown), connected thereto, and the other end of a pipe 86 is connected to an air pressure source. Also, by controlling the air pressure of compressed air supplied from the air pressure source via the air pressure circuit, the inside pressure of the air cylinder 84 is controlled. By this, a piston 84A is moved back and forth along the axis direction. In the air cylinder 84 in FIG. 3, the return process uses the gravity exerted on the piston 84A in the state of being embedded in the parallel link mechanism 84.

Moreover, on the other end inside the cavity 82 of the first axis member 79, an armature unit 88 composing the stator in a shaft motor 92, which is a kind of electromagnetic force linear motor and composed of a plurality of armature coils arranged in the axis-direction, is disposed. As the shaft motor 92, a three-phase motor is employed. Therefore, the armature unit 88 is constituted of a plurality of coil units connected in series each of which has three coils connected in series each of which is for one phase and has a coil-axis-direction length of  $L/3$ , a third of a pitch  $L$  (described later).

Meanwhile, the second axis member 80 has a tube-like mover-yoke 80a, which is composed of magnetic members, and an attachment member 80b provided on the other end (right end in FIG. 3), in the axis-direction (longitudinal direction), of this mover-yoke 80a. On the periphery of the mover-yoke 80a, a hollow, columnar, that is cylindrical, magnetic body 89 composed of a plurality of permanent magnets having the same size as one another is arranged. In this case, a hollow, columnar magnetic pole unit 90 as a mover of the shaft motor 92 is composed of the mover-yoke 80a and the magnetic body 89. The magnetic body 89 comprises a plurality of first-magnets, which are arranged at a predetermined distance along the axis-direction and each are a cylindrical permanent magnet magnetized in the axis-direction, and a plurality of second-magnets each of which is arranged between the neighboring two first-magnets and is a permanent magnet magnetized in the radius direction. Two poles of mutually neighboring two first-magnets, which are opposite with each other, have the same polarity as each other. Also, second-magnets are so arranged that their magnetization directions are alternatively opposite and that their poles having the same polarity as their neighboring first-magnets' poles are facing outwards.

Therefore, in the neighbor of the stator, an open magnetic circuit (or close magnetic circuit) having a pitch ( $L$ ) of  $2L_1$  is formed omni directionally (radially) as the length of the first-magnet and second-magnet is represented by  $L_1$ .

In the shaft motor 92 composed in this way, when supplying a driving current of sine wave having a predetermined period and amplitude to each coil of the armature unit 88 as the stator, the second axis member 80 is relatively driven in the axis-direction with respect to the first axis member 79 by Lorentz force (thrust), a kind of electromagnetic reaction, between the magnetic pole unit 90 and the armature unit 88.

That is, in the present embodiment, the above air cylinder 84 and shaft motor 92 relatively drive the first axis member 79 and the second axis member 80 in the axis-direction, and constitute a first expansion mechanism 94<sub>1</sub>, that expand the first rod 78<sub>1</sub>.

Furthermore, on the inside surface of the first axis member 79 constituting the first rod 78<sub>1</sub>, a plurality of air pads (air static pressure bearing unit) 96's serving as gas static pressure bearing units are arranged. The gas static pressure bearing unit is a bearing unit that supports the magnetic pole unit 90 serving as a mover of the above shaft motor 92 in non-contact manner with respect to the armature unit 88 as a stator. Each air pad 96 has an air pressure circuit (not shown), which is connected to an air pressure source (not shown) via an air supply path 98 and air supply tube 99, connected thereto. Also, via the air pressure circuit, the pressure of a compressed air supplied from the air pressure source is controlled, and the compressed air having a predetermined pressure is blown out from each air pad 96 toward the periphery of the magnetic pole unit 90. Then by the static pressure of the compressed air, so-called gap-inside pressure, the magnetic pole unit 90 is supported in non-contact manner with respect to the armature unit 88.

Therefore, a friction that is non-linear component is avoided when controlling the expansion/contraction of the first rod 78<sub>1</sub>, where the air pad 96 is arranged, by the first expansion mechanism 94<sub>1</sub>.

Furthermore, in the neighbor of this air pad 96, a differential exhaust mechanism (vacuum exhaust mechanism) 400, which is connected to a vacuum pump (not shown), is arranged. This differential exhaust mechanism 400 prevents an gas blown out of the air pad 96 from contaminating the gas purity of the atmosphere inside the exposure apparatus (e.g. helium gas atmosphere) by differentially exhausting the air blown from the air pad 96.

Incidentally, the above shaft motor 92 also functions as a kind of magnetic bearing by controlling the phase of the driving current. However, considering the effect of the gravity exerted on the second axis member 80, the above air pad 96 is arranged. Therefore, instead of the above air pad, a magnetic bearing unit may be employed as the bearing unit.

Note that although not shown in FIG. 3, a linear encoder 95<sub>1</sub>, is arranged which uses a Hall device to detect the amount of movement of the magnetic unit 90 with respect to the armature unit 88 and that the output of the linear encoder is supplied to the main controller 50 (refer to FIG. 8).

The other first rods 78<sub>2</sub>, 78<sub>3</sub> are constituted in the same way as the first rod 78<sub>1</sub>, and have first expansion mechanisms 94<sub>2</sub>, 94<sub>3</sub> and linear encoders 95<sub>2</sub>, 95<sub>3</sub> that are respectively the same as those of the first rod 78<sub>1</sub> (refer to FIG. 8).

Moreover, the second mechanism comprises a second base member 102 provided on the floor surface FD of a clean room and three expandable second rods 104<sub>1</sub>, 104<sub>2</sub>, 104<sub>3</sub> that each connect the second base member 102 and the reticle base level block 12. As shown in FIG. 2, the second base member 102 comprises a basis 102a and three extended portions 102b that extend upward from the three positions of the basis 102a and have the same height.

The second rods 104<sub>1</sub>, 104<sub>2</sub>, 104<sub>3</sub> each have a first axis member 106 and a second axis member 108 that are relatively movable along their axis, and one end (lower end) of the first axis member 106 is attached to a position of a predetermined height near the upper end of the corresponding extended portions 102b so as to be rotatable around a supporting axis 110, being a bolt or pin, as a center. Also, in the same way, one end (upper end) of the second axis member 108 is attached to the reticle base level block 12 so as to be rotatable. These three second rods 104<sub>1</sub>, 104<sub>2</sub>, 104<sub>3</sub> are so arranged that they are respectively opposite with the first rods 78<sub>1</sub>, 78<sub>2</sub>, 78<sub>3</sub> in the planar view as shown in FIG. 2.

Furthermore, the second rods 104<sub>1</sub>, 104<sub>2</sub>, 104<sub>3</sub> respectively comprise second expansion mechanisms 112<sub>1</sub>, 112<sub>2</sub>, 112<sub>3</sub>, which are composed in the same way as the first expansion mechanisms 94<sub>1</sub>, of the first rod 78<sub>1</sub>, and linear encoders 95<sub>4</sub>, 95<sub>5</sub>, 95<sub>6</sub> (refer to

FIG. 8). Also, in the second rods 104<sub>1</sub>, 104<sub>2</sub>, 104<sub>3</sub>, air pads are arranged in the same way and for the same purpose as the first rod.

The third mechanism comprises three third base members 114<sub>1</sub>, 114<sub>2</sub>, 114<sub>3</sub> (refer to FIG. 2) that are respectively arranged outwards next to the three first base members 76<sub>1</sub>, 76<sub>2</sub>, 76<sub>3</sub> on the floor surface FD of a clean room and three expandable third rods 118<sub>1</sub>, 118<sub>2</sub>, 118<sub>3</sub> that respectively connect three third base members 114<sub>1</sub>, 114<sub>2</sub>, 114<sub>3</sub> with an attachment stage 116 provided on the outside of the bulkhead containing the projection optical system PL.

The respective third rods 118<sub>1</sub>, 118<sub>2</sub>, 118<sub>3</sub> have a first axis member 120 and a second axis member 122 that are relatively movable along their axis, and one end (lower end) of the first axis member 120 is attached to the corresponding third base member 114 so as to be rotatable around a supporting axis 124, being a bolt or pin, as a center. Also, in the same way, one end (upper end) of the second axis member 122 is attached to the attachment stage 116 so as to be rotatable.

The third rods 118<sub>1</sub>, 118<sub>2</sub>, 118<sub>3</sub> respectively comprise third expansion mechanisms 126<sub>1</sub>, 126<sub>2</sub>, 126<sub>3</sub>, which are composed in the same way as the first expansion mechanisms 94<sub>1</sub>, of the first rod 78<sub>1</sub>, and linear encoders 95<sub>7</sub>, 95<sub>8</sub>, 95<sub>9</sub> (refer to FIG. 8). Also, in the third rods 118<sub>1</sub>, 118<sub>2</sub>, 118<sub>3</sub>, air pads are arranged in the same way as the first rod.

Expansion mechanisms of rods 94<sub>1</sub> to 94<sub>3</sub>, 112<sub>1</sub> to 112<sub>3</sub>, 126<sub>1</sub> to 126<sub>3</sub> that constitute the parallel link mechanism in the way described above are controlled by the main controller 50 via the stage controller 52 (refer to FIG. 8).

In the present embodiment, the above third mechanism composing the parallel link mechanism 74 is, for example, employed to initially set the position and attitude of the projection optical system when starting up the exposure apparatus 10 after the completion of its assembly in a factory. That is, an operator inputs necessary information for initial setting via an input/output unit, and the main controller 50 controls the third expansion mechanisms 126<sub>1</sub>, 126<sub>2</sub>, 126<sub>3</sub> via the stage controller 52 on the basis of the input information. Then the third rods 118<sub>1</sub>, 118<sub>2</sub>, 118<sub>3</sub> are expanded and the projection optical system PL is set to be in a predetermined position and attitude. After the completion of the initial setting, the third rods 118<sub>1</sub>, 118<sub>2</sub>, 118<sub>3</sub> are kept in the after-adjustment state.

Note that because there is some possibility that the Z position and attitude of the projection optical system PL changes from the initial state due to fine deformation of the clean room floor surface over time, the above initial setting may be repeated at a predetermined time interval or performed as the need arises.

Next, the principle of controlling the position and attitude in three degrees of freedom, that is  $\theta_x, \theta_y, Z$ , of a body (controlled object) to be driven by a driving system having three of the same rods as the above first, second and third mechanisms have will be described below.

As such a driving system, consider one, as shown schematically in FIG. 4, including a stationary member T, a driven body S, and expandable rods  $RD_i$  ( $i$ =one to three), each of which includes a stator side member RM1 and a mover side member RM2 and links three points  $A_i$  ( $i$ =one to three) of the stationary member T and three points  $B_i$  ( $i$ =one to three) of the driven body S. Note that in the plane defined by three points  $A_i$  ( $i$ =one to three) these points are placed at vertices of an equilateral triangle and that as setting the center of the equilateral triangle to be an origin O, a stationary coordinate system XYZ is so defined that the plane including the equilateral triangle is its X-Y plane. Furthermore, in the plane defined by three points  $B_i$  ( $i$ =one to three) these points are placed at vertices of an equilateral triangle and as setting the center of the equilateral triangle to be an origin P, a driven-body coordinate system UVW is so defined that the plane including the equilateral triangle is its U-V plane. Incidentally, in each of the rods, the expansion/contraction of the rod  $RD_i$  is caused by the movement, along the line between  $A_i$  and  $B_i$ , of the mover side member RM2 of the rod  $RD_i$ .

In the present embodiment, a control system shown in FIG. 5, a block diagram, controls the position and attitude in three degrees of freedom  $\theta_x, \theta_y, Z$ , which is shown in FIG. 4, in the manner described below.

First, initial values of a position/attitude-setting portion 306 and a velocity-setting portion 304 are set to current values of the position and attitude ( $\theta_x, \theta_y, Z$ ), in three degrees of freedom  $\theta_x, \theta_y, Z$ , and the velocities ( $d\theta_x/dt, d\theta_y/dt, dZ/dt$ ) of a driven body S, and initial values of an acceleration-setting portion 302 are set to acceleration values ( $d^2\theta_x/dt^2, d^2\theta_y/dt^2, d^2Z/dt^2$ ) for the control of a desirable position/attitude. After that, until a new initial setting, only the acceleration-setting portion 302 is updated time after time. Meanwhile, in the velocity-setting portion 304, its setting values are each set to the

sum of their initial value and the integration of acceleration values from the acceleration-setting portion 302, and in the position/attitude-setting portion 306, its setting values are each set to the sum of their initial value and the integration of velocity values from the velocity-setting portion 304.

At each time, a reverse-dynamics analyzing portion 308 analyzes the acceleration-setting values of the acceleration-setting portion 302, the velocity-setting values of the velocity-setting portion 304, and the position/attitude-setting values of the position/attitude-setting portion 306 that are set in this way and inputted thereto, and based on the results of this analysis, the reverse-dynamics analyzing portion 308 determines instructing values of thrusts for the respective rods  $RD_i$ .

The reverse-dynamics analyzing portion 308 performs kinematical analyses regarding the position/attitude, velocity, and acceleration. These will be described below in turn.

In the below description, for the sake of convenience, each vector is represented by an expression, vector XX, in sentences, and a vector-symbol " $\rightarrow$ " is attached on the XX in mathematical expressions.

#### The Analysis of Position/Attitude

In the analysis of position/attitude, the length and the expansion/contraction direction of each rod  $RD_i$  are obtained based on the position/attitude setting values ( $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $Z$ ).

Therefore, first, from the respective position vectors  $Bb_i$  (known constant vectors) of the points  $B_i$  ( $i$ =one to three) in the UVW coordinate system, a vector  $b_i$  in the XYZ coordinate system is calculated by the following equation (3).

$$\overrightarrow{b_i} = \mathbf{ARB} \cdot \overrightarrow{Bb_i} \quad \dots (3)$$

Note that  $\mathbf{ARB}$  is a rotational transform matrix from the UVW coordinate system to the XYZ coordinate system and is determined by the attitude setting values  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  and known  $\theta_z$  (constant; e.g. zero) in the position/attitude-setting portion 306. Such a rotational transform matrix is publicly known and can be easily calculated. Incidentally, instead of the position/attitude setting values  $\theta_x, \theta_y, Z$ , Eulerian angles may be used and in such a case, the expression for equations of motion described later becomes simple.

Then using a vector  $\vec{b}_i$  obtained from equation (3), a vector  $\vec{r}_i$  from  $A_i$  to  $B_i$  is calculated by the following equation (4).

$$\vec{r}_i = \vec{p} + \vec{b}_i - \vec{a}_i \quad \dots (4)$$

Note that the vector  $\vec{p}$  is, as shown in FIG. 4, a vector from the origin O of the XYZ coordinate system to the origin P of the UVW coordinate system, that in the XYZ coordinate the Z component of the vector  $\vec{p}$  is determined by a position setting value Z in the position/attitude-setting portion 306, and that its X component and Y component are known (constant; e.g. both are zero in the case of the point p being just on the point O). Also, a vector  $\vec{a}_i$  is the position vector of the point  $A_i$  in the XYZ coordinate system and a known constant vector.

Next, by the following equations (5) and (6), the length  $D_i$  of each rod  $RD_i$  and a unit vector  $\vec{s}_i$  in the expansion/contraction direction of each rod  $RD_i$  in the XYZ coordinate system are obtained.

$$D_i = |\vec{r}_i| \quad \dots (5)$$

$$\vec{s}_i = \vec{r}_i / D_i \quad \dots (6)$$

Incidentally, the reverse-dynamics analyzing portion 308 finally determines the thrust in the expansion/contraction direction of each rod  $RD_i$  and because the rotation of the rod  $RD_i$  is generated by the expansion/contraction of the rod  $RD_i$ , it is convenient to employ a rod coordinate system, for each rod  $RD_i$ , having the expansion/contraction direction of the rod  $RD_i$  to be its one-axis so as to easily express the rotation of the rod  $RD_i$ . Therefore, in the present embodiment, as having a  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system shown in FIG. 6 represent the rod coordinate system for each rod  $RD_i$ , the following definitions are made.

That is, definitions are made that a  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system is a coordinate system where its axes are respectively parallel to those of the XYZ coordinate system and its origin is a point  $A_i$ , that the  $Z_i$  direction and the expansion/contraction direction of the rod  $RD_i$  form an angle  $\psi_i$ , and that the  $X_i$  axis and an intersection line between the  $X_i Y_i$  plane and a plane, which is formed by the  $Z_i$  axis and the expansion/contraction direction axis of the rod  $RD_i$ , form an angle  $\phi_i$ . Moreover, definitions are made that a  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system is a coordinate system obtained by rotating the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system around the  $Z_i$  axis through the angle  $\phi_i$  and that a  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system obtained by rotating the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system around the  $Y_i$  axis through the angle  $\psi_i$  is an individual rod coordinate system for the rod  $RD_i$ .

$$\cos \psi_i = s_{iz} \quad \dots (7)$$

$$\sin \psi_i = (s_{ix}^2 + s_{iy}^2)^{1/2} \quad \dots (8)$$

$$\sin \phi_i = s_{iy} / \sin \psi_i \quad \dots (9)$$

$$\cos \phi_i = s_{ix} / \sin \psi_i \quad \dots (10)$$

Between the angles  $\psi_i$ ,  $\phi_i$  and the components ( $s_{ix}$ ,  $s_{iy}$ ,  $s_{iz}$ ) of the unit vector  $s_i$  in the XYZ coordinate system, the following equations exist.

Moreover, a rotational transform matrix  $AR_i$  from the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system to the XYZ coordinate system is given by the following equations (11).

$$AR_i = \begin{pmatrix} \cos \phi_i \cdot \cos \psi_i & -\sin \phi_i \cdot \cos \psi_i & \sin \psi_i \\ \sin \phi_i \cdot \cos \psi_i & \cos \phi_i \cdot \cos \psi_i & \sin \psi_i \\ -\sin \phi_i & 0 & \cos \psi_i \end{pmatrix} \quad \dots (11)$$

Incidentally, the rotational transform matrix  $AR_i$  is an Hermitean matrix, and the rotational transform matrix  ${}_iRA$  from the XYZ coordinate system to the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system, which is the reverse transform of the rotational transform by the rotational transform matrix  $AR_i$ , is a transposed matrix.

### The Analysis of Velocities

In the analysis of velocities, based on the above analysis results of the position and attitude and the velocity setting values, the velocity-vectors, in the driven body connection point  $B_i$ , of each rod  $RD_i$  viewed in the XYZ coordinate system and the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system and the angular-velocity-vector of each rod  $RD_i$  viewed in the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system are obtained.

First, the velocity-vector  $\overline{vb_i}$  in the point  $B_i$  viewed in the XYZ coordinate system is obtained by the following equations (12).

$$\overline{vb_i} = \overline{v_p} + \overline{\omega_p} \times \overline{b_i} \quad \dots (12)$$

Note that the vector  $V_p$  is the velocity vector of the gravity center of the driven body S in the XYZ coordinate system, that X component and Y component of the vector  $V_p$  are both zero because the driven body S does not move in the X direction and Y direction, and that its Z component is the velocity setting value  $dZ/dt$  in the velocity setting portion 304. Also,  $\omega_p$  represents the angular velocity vector of the driven body S in the XYZ coordinate system, and its X component and Y component respectively



represent angular-velocity setting values  $d\theta x/dt$ ,  $d\theta y/dt$  in the velocity-setting portion 304. Also, because the driven body S does not rotate about the Z-axis, its Z component is zero. In equation (12) and below equations, "x" represents an outer product operation and "." an inner product operation.

Next, a velocity vector  ${}_i \mathbf{vb}_i$  of the point  $B_i$  viewed in the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system is obtained by the following equations (13).

$$\overrightarrow{{}_i \mathbf{vb}_i} = {}_i \mathbf{RA} \cdot \overrightarrow{\mathbf{vb}_i} \quad \dots (13)$$

Note that the  $Z_i$  component of vector  ${}_i \mathbf{vb}_i$  represents the expansion/contraction velocity  $VR_i$  of the rod  $RD_i$ .

Next, by the following equation (14), the above unit vector  $\mathbf{s}_i$  is transformed into a vector  ${}_i \mathbf{s}_i$  that is its expression in the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system.

$$\overrightarrow{{}_i \mathbf{s}_i} = {}_i \mathbf{RA} \cdot \overrightarrow{\mathbf{s}_i} \quad \dots (14)$$

Also, an angular velocity vector  ${}_i \boldsymbol{\omega}_i$  of the rod  $RD_i$  viewed in the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system is obtained by the following equations (15).

$$\overrightarrow{{}_i \boldsymbol{\omega}_i} = (\overrightarrow{{}_i \mathbf{s}_i} \times \overrightarrow{{}_i \mathbf{vb}_i}) / D_i \quad \dots (15)$$

#### The Analysis of Acceleration

In the analysis of acceleration, based on the above analysis results of the position/attitude and the velocity, and the acceleration setting values, the acceleration-vectors and angular-acceleration-vectors, in the driven body connection point  $B_i$ , of each rod  $RD_i$  are obtained.

Next, the acceleration-vector in the point B viewed in the XYZ coordinate system is obtained by the following equations (16).

$$\overrightarrow{\alpha \mathbf{b}_i} = \overrightarrow{\alpha_p} + \overrightarrow{\beta_p} \times \overrightarrow{\mathbf{b}_i} + \overrightarrow{\omega_p} \times (\overrightarrow{\omega_p} \times \overrightarrow{\mathbf{b}_i}) \quad \dots (16)$$

Note that the vector  $\alpha_p$  is the acceleration vector of the gravity center of the driven body S in the XYZ coordinate system, that X component and Y component of the vector  $\alpha_p$  are both zero because the driven body S is not driven in the X direction and Y direction, and that its Z component is the acceleration setting value  $d^2 Z/dt^2$  in the acceleration setting portion 302. Also,  $\beta_p$  represents the angular velocity vector of the driven body S in the XYZ coordinate system, and its X component and Y component

respectively represent angular-acceleration setting values  $d^2\theta_x/dt^2$ ,  $d^2\theta_y/dt^2$  in the acceleration-setting portion 302. Also, because the driven body S is not driven about the Z-axis, its Z component is zero.

Next, a velocity vector  ${}_i\alpha b_i$  of the point  $B_i$  viewed in the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system is obtained by the following equations (17).

$$\overline{{}_i\alpha b_i} = {}_iRA \cdot \overline{\alpha b_i} \quad \dots (17)$$

Note that the  $Z_i$  component of vector  ${}_i\alpha b_i$  represents the expansion/contraction acceleration  $\alpha R_i$  of the rod  $RD_i$ .

Next, an angular-acceleration vector  ${}_i\beta_i$  of the point  $B_i$  viewed in the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system is obtained by the following equations (18).

$$\overline{{}_i\beta_i} = (\overline{{}_i s_i} \times \overline{{}_i\alpha b_i}) / D_i - 2VR_i \cdot \overline{{}_i\omega_i} / D_i \quad \dots (18)$$

Incidentally, each rod  $RD_i$  is composed of the stator side member RM1 and the mover side member RM2. Assume that the structure of the stator side member RM1 and the mover side member RM2 is the one shown in FIG. 7. That is, the mass of the stator side member RM1 and the mass of the mover side member RM2 are respectively represented by  $m_1$  and  $m_2$ . Also, assume that the gravity center of the stator side member RM1 is located at the position of distance  $L_1$  from the point  $A_i$  in the direction from the point  $A_i$  to  $B_i$  and that the gravity center of the mover side member RM2 is located at the position of distance  $L_2$  from the point  $B_i$  in the direction from the point  $B_i$  to  $A_i$ .

In this case, an acceleration vector  ${}_i\alpha 1_i$ , in the gravity center, of the stator side member RM1 and an acceleration vector  ${}_i\alpha 2_i$ , in the gravity center, of the mover side member RM2 viewed in the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system are obtained by the following equations (19), (20).

$$\overline{{}_i\alpha 1_i} = L_1 \cdot \overline{{}_i\beta_i} + L_1 \cdot \overline{{}_i\omega_i} \times (\overline{{}_i\omega_i} \times \overline{{}_i s_i}) \quad \dots (19)$$

$$\begin{aligned} \overline{{}_i\alpha 2_i} = & \alpha R_i \cdot \overline{{}_i s_i} + (D_i - L_2) \cdot \overline{{}_i\beta_i} \times \overline{{}_i s_i} \\ & + (D_i - L_2) \cdot \overline{{}_i\omega_i} \times (\overline{{}_i\omega_i} \times \overline{{}_i s_i}) \\ & + 2VR_i \cdot \overline{{}_i\omega_i} \times \overline{{}_i s_i} \quad \dots (20) \end{aligned}$$

After the completion of the analyses of the position/attitude, the velocity/angular-velocity, and the acceleration/angular-acceleration as described above, as shown in FIG.

7, by virtually dividing the driven body S and the rod RD<sub>i</sub> at the point B<sub>i</sub>, the system is decomposed into a driven body system and open loop rod system.

Also, considering each rod RD<sub>i</sub> as a sub-system, an equation of motion about A<sub>i</sub> for the rod RD<sub>i</sub> is given by the following equations (21).

$$\overline{{}_i n_i A} = d (\overline{{}_i h_i A}) / dt \quad \dots (21)$$

Note that the vector  ${}_i n_i A$  is a moment vector about the point A<sub>i</sub> of the rod RD<sub>i</sub> and that the vector  ${}_i h_i A$  is a angular moment vector about the point A<sub>i</sub> of the rod RD<sub>i</sub>.

Incidentally, as shown in FIG. 7, viewing in the X<sub>i</sub> Y<sub>i</sub> Z<sub>i</sub> coordinate system, a reaction  ${}_i fa_i$  ( ${}_i fa_{Xi}$ ,  ${}_i fa_{Yi}$ ,  ${}_i fa_{Zi}$ ) acting on the rod RD<sub>i</sub> is generated at the point A<sub>i</sub> and a reaction  $\{-{}_i fb_i$  ( $-{}_i fb_{Xi}$ ,  $-{}_i fb_{Yi}$ ,  $-{}_i fb_{Zi}$ ) acting on the rod RD<sub>i</sub> is generated at the point B<sub>i</sub>. Also, a reaction  ${}_i fb_i$  is generated at a point of the driven body S corresponding to the point B<sub>i</sub>.

The values  ${}_i fb_{Xi}$ ,  ${}_i fb_{Yi}$  that are respectively X<sub>i</sub> axis component and Y<sub>i</sub> axis component of the reaction acting on the point B<sub>i</sub> and the point of the driven body S corresponding to the point B<sub>i</sub> are obtained on the basis of the results of the above reverse-dynamics analysis of the position/attitude, the velocity/angular velocity, the acceleration/angular acceleration, the mass m<sub>1</sub> of the stator side member RM1, the mass m<sub>2</sub> of the mover side member RM2, and a gravity acceleration regardless of the mass of the driven body S. Also, the value  ${}_i fb_{Zi}$  that is Z<sub>i</sub> axis component is obtained by resolving a translation motion equation of the driven body S viewed in the XYZ coordinate system (22) and a rotatory equation (23).

$$\sum_{i=1}^3 (\overline{Afb_i}) + m_p \cdot \overline{g} = m_p \cdot \overline{\alpha_p} \quad \dots (22)$$

$$Bn_p = \sum_{i=1}^3 (\overline{Bb_i} \cdot \overline{Bfb_i}) \quad \dots (23)$$

The vector Afb<sub>i</sub> is a reaction-vector acting on the point of the driven body S corresponding to the point B<sub>i</sub> in the XYZ coordinate system and given by the following equation (24).

$$\overline{Afb_i} = AR_i \cdot \overline{{}_i fb_i} \quad \dots (24)$$

Also, m<sub>p</sub> represents the mass of the driven body S and a vector g represents a gravity acceleration vector.

Furthermore, the vector  $Bn_p$  represents the moment of the driven body S viewed in the UVW coordinate system and the vector  $Bfb_i$  is a reaction-vector acting on the point of the driven body S corresponding to the point  $B_i$  in the UVW coordinate system and given by the following equation (25).

$$\begin{aligned}\overline{Bfb_i} &= (ARB)^{-1} \cdot \overline{Afb_i} \\ &= (ARB)^{-1} \cdot AR_i \cdot \overline{fb_i} \quad \dots (25)\end{aligned}$$

Incidentally, although equations (22) and (23) include six equations, considering that the driven body is driven in three degrees of freedom  $\theta_x, \theta_y, Z$ , an equation regarding Z component of equation (24) and two equations regarding components  $\theta_x, \theta_y$  of equation (25) are used on calculating three values  $fb_{zi}$  ( $i$ =one to three).

Also, the reverse-dynamics analyzing portion 308 finally calculates the instructing value  $\tau_i$  of thrust for each of the rods  $RD_i$  according to

$$\begin{aligned}\tau_i &= fb_{zi} + m_i \cdot g_c \cdot \cos \psi_i \\ &\quad + m_i \cdot \alpha_{zi} \quad \dots (26)\end{aligned}$$

Note that  $fb_{zi}$  is the Z component of vector  $fb_i$  and that  $g_c$  is the magnitude ( $9.8 \text{ m/S}^2$ ) of the gravity acceleration.

Although, in the above, the calculation of the instructing value of thrust for each rod  $RD_i$  according to Newton/Euler method is described, the instructing value of thrust for each rod  $RD_i$  may be calculated according to d'Alembert method. In the d'Alembert method, the equations of Newton/Euler method are put together into Jacobian matrices, and forces of constraint and moments of Newton/Euler method are removed from the equations of motion. Therefore, it is more efficient than Newton/Euler method, practical, and preferable d'Alembert method will be briefly described below. Note that symbols represent the same things as those of Newton/Euler method.

First, in the same way as Newton/Euler method, the position/attitude, velocity/angular velocity, and acceleration/angular acceleration are analyzed by reverse-dynamics analysis. The rotational transform matrix from the UVW coordinate system to the XYZ coordinate, and the angular velocity vector  $\omega_p$  and angular acceleration vector  $\beta_p$  in the expression of Eulerian angles are obtained.

Next, Jacobian matrix  $Jb_i$  of each rod  $RD_i$  regarding the XYZ coordinate system that satisfy the following equation (27) is calculated.

$$\overrightarrow{vb_i} = Jb_i \cdot \overrightarrow{va_p} \quad \dots (27)$$

Note that vector  $va_p$  is a velocity vector in six degrees of freedom in the XYZ coordinate system and the resultant of the above velocity vector  $v_p$  of the gravity center of the driven body S and the angular velocity vector  $\omega_p$  of the driven body S.

Jacobian matrix  $Jb_i$  is obtained from the results of reverse-dynamics analyses of the position/attitude and velocity/angular velocity by using an equation equivalent to the equation (12).

Next, Jacobian matrix  ${}_i Jb_i$  of each rod  $RD_i$  regarding the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system is calculated by the following equation (28).

$${}_i Jb_i = {}_i RA \cdot Jb_i \quad \dots (28)$$

By using Jacobian matrix  ${}_i Jb_i$ , from the velocity vector  $va_p$  in six degrees of freedom in the XYZ coordinate system, velocity vector  ${}_i vb_i$  of the point  $B_i$  viewed in the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system is obtained from the following equation (29).

$${}_i \overrightarrow{vb_i} = {}_i Jb_i \cdot \overrightarrow{va_p} \quad \dots (29)$$

Next, a driven body's Jacobian matrix  $JP$  is obtained from the following equation (30).

$$\overrightarrow{VR_i} = JP \cdot \overrightarrow{v_p} \quad \dots (30)$$

The driven-body's Jacobian matrix  $JP$  is obtained on the basis that  $Z_i$  component of vector  ${}_i vb_i$  is the expansion/contraction velocity vector  $VR_i$  of the rod  $RD_i$ .

Incidentally, considering that the gravity acts on the driven body S, a applied-force vector  $fS_p$  and an inertia torque  $tS_p$  exerted on the gravity of the driven body S are obtained from the following equations (31) and (32) as representing an inertia matrix around the gravity of the driven body S in the XYZ coordinate system by  $AI_p$ .

$$\overrightarrow{fS_p} = m_p \cdot \overrightarrow{g} - m_p \cdot \overrightarrow{\alpha_p} \quad \dots (31)$$

$$\overrightarrow{tS_p} = -AI_p \cdot \overrightarrow{\beta_p} - \overrightarrow{\omega_p} \times (AI_p \cdot \overrightarrow{\omega_p}) \quad \dots (32)$$

The resultant of the applied-force vector  $fS_p$  and inertia torque  $tS_p$  is represented by vector  $T_p$  in the below.

In the same way as the driven body S, the resultant  ${}_i T1_i$ , in the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system, of the applied-force vector and the inertia torque that act on the gravity of the stator side member RM1 composing the rod  $RD_i$  and the resultant  ${}_i T2_i$ , in the  $X_i Y_i Z_i$  coordinate system, of the applied-force vector and the inertia torque that act on the gravity of the mover side member RM2 composing the rod  $RD_i$  are obtained.

Next, using the instructing value  $\tau_i$  of thrust for each rod  $RD_i$  as a parameter and employing driven-body's Jacobian matrix, an equation of motion is established. Also, by solving that equation, the instructing value  $\tau_i$  of thrust for each rod  $RD_i$  is obtained. Note that the instructing value  $\tau_i$  of thrust can be calculated by applying Gauss elimination to the equation of motion.

That is, the instructing value  $\tau_i$  of thrust depends on the reverse transform of the driven-body's Jacobian matrix. Therefore, because, when the driven body comes close to a singular point of the reverse transform, a value calculated as the instructing value  $\tau_i$  of thrust becomes unstable, it is necessary to monitor the amount of the expansion/contraction, and velocity and acceleration of each rod  $RD_i$  all the time.

As described above, a voltage conversion portion 310 converts the instructing value  $\tau_i$  of thrust for each rod  $RD_i$  obtained by the reverse-dynamics analyzing portion 308 into a voltage supplied to each rod  $RD_i$ . The voltage is supplied to the electromagnetic actuator (corresponding to the shaft motor 92 in FIG. 3) of each rod  $RD_i$  via a voltage adder 322 and first-order delay portion 312. Also, by the rod  $RD_i$  expanding or contracting according to the voltage, the driven body 316 (i.e. the above driven body S (corresponding to the wafer base level block 38, etc.)) is driven in three degrees of freedom  $\theta_x, \theta_y, Z$ .

Note that taking into account time delay in the delay portion 312 and the driven body 316, a controller 318 generates and supplies a voltage according to the difference between the position/attitude setting values in the position/attitude setting portion 306 and the position/attitude values measured by a stage system sensor 320 (corresponding to the focus sensor 73 in FIG. 1) to the voltage adder 322. Furthermore, taking the above time delay into account, a controller 324 generates and supplies a voltage according to the difference between the length of each rod  $RD_i$  calculated by the reverse-dynamics analyzing portion 308 and the length of each rod  $RD_i$  measured by a rod system sensor 326 (corresponding to the linear encoder 95) to the voltage adder 322. By this

compensated voltage for each rod generated by the controller 318, 324, the delay in control by the delay portion 312 or the driven body 316 is compensated for.

In FIG. 8, the structure of the control system of the exposure apparatus 10 is schematically shown. The control system of FIG. 8 comprises the main controller 50 and the stage controller 52, each of which is composed of a microcomputer or a workstation, as a main portion. Note that the main controller 50 and the stage controller 52 comprise the acceleration-setting portion 302, the velocity-setting portion 304, the position/attitude-setting portion 306, the reverse-dynamics analyzing portion 308, the voltage conversion portion 310, and the controllers 318, 324 and control the reticle base level block 12 and the wafer base level block 38 using the principle of the driving control by the above parallel link mechanism on the basis of the detection results by the reticle interferometer 24R, the wafer interferometer 24W, the focus sensor 73, and the linear encoder 95.

Next, the exposure operation by the exposure apparatus 10 of the present embodiment, which is constituted in the manner described above, will be described below with referring to FIG. 8 and the like.

Assume that, as a premise, the above initial setting of the projection optical system PL is completed using the third mechanism composing the parallel link mechanism 74.

First, after preparation such as reticle alignment and base line measurement using a reticle microscope (not shown), an off-axis alignment sensor (not shown), and the like, a fine alignment (EGA (enhanced global alignment), etc.) of a wafer W using the alignment sensor is completed, and then the arrangement coordinates of a plurality of shot areas on the wafer are obtained. Incidentally, the details of the above preparation of such as reticle alignment and base line measurement are disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 4-324923, U.S. Pat. No. 5,243,195 corresponding thereto, and the like, and the details of the EGA are disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 61-44429, U.S. Pat. No. 4,780,617 corresponding thereto, and the like. The disclosures in the above Japanese Patent Laid-Opens and U.S. patents are incorporated herein by this reference as long as the national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit.

Next, according to the instructions from the main controller 50, the stage controller 52 moves the reticle stage RST via the reticle driver 14 while monitoring the measurement values of the reticle laser interferometer 24Ry<sub>1</sub>, 24Ry<sub>2</sub>, 24Rx, and the reticle is positioned at a scanning start position in the Y direction. In the same manner as this, according to the instructions from the main controller 50, the stage controller 52 moves the wafer stage WST via the wafer driver 40 while monitoring the measurement values of the wafer laser interferometer 24Wy<sub>1</sub>, 24Wy<sub>2</sub>, 24Wx, and a corresponding shot area on the wafer is positioned at a scanning start position in the Y direction.

Then the stage controller 52 moves the reticle stage RST and the wafer stage WST respectively via the reticle driver 14 and the wafer driver 40 in mutually opposite directions at a velocity ratio corresponding to the projection magnification, and scanning exposure is performed.

By the above operation, one-scan exposure (one shot exposure) of the reticle R is completed.

Next, according to the instructions from the main controller 50, the stage controller 52 steps the wafer stage WST by one row of shot areas in the X direction and scans the wafer stage WST and the reticle stage RST each in an opposite direction to their previous direction, and performs scanning exposure onto other shot areas on the wafer.

During the above scanning exposure, using the above driving control principle, on the basis of the measurement results of focus and leveling in the exposure area on the wafer, the main controller 50 controls the expansions/contractions of the first rods 78<sub>1</sub> to 78<sub>3</sub> via the stage controller 52 and respectively via the first expansion mechanisms 94<sub>1</sub> to 94<sub>3</sub> composing the parallel link mechanism 74 and controls the position/attitude in three degrees of freedom Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  of the wafer stage WST via the wafer base level block 38 so that the exposure areas are kept within the range of the focus depth of the projection optical system. That is, in this manner, the main controller 50 adjusts the relative positions in three degrees of freedom Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  of the projection optical system PL and the wafer W (the wafer stage WST), in other words, precisely performs a focus leveling control to prevent the deterioration of pattern transferred images due to defocus as much as possible.

Furthermore, during the above scanning exposure, using the above driving control principle, on the basis of the position/attitude detection information of the reticle base



level block 12 reported from the stage unit 52 in real time, the main controller 50 feedback-controls the stage controller 52 and the second expansion mechanisms 112<sub>1</sub> to 112<sub>3</sub> composing the parallel link mechanism 74, and controls the expansions/contractions of the second rods 104<sub>1</sub> to 104<sub>3</sub> and the position/attitude, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the reticle base level block 12 to keep the position/attitude, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the reticle stage RST at a desirable state all the time. That is, in this way, the main controller 50 adjusts the relative position, in three degrees of freedom  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $Z$ , of the reticle stage RST with respect to the projection optical system PL. Therefore, even when an offset load due to the movement of the reticle stage RST is exerted on the reticle base level block 12, the transfer position deviations, image blurs, etc., of the pattern-transferred image are effectively suppressed.

As described above, in the exposure apparatus 10 of the present embodiment, by the expandable first rods 78<sub>1</sub> to 78<sub>3</sub> composing the first mechanism of the parallel link mechanism 74 controlled by the main controller 50, the position/attitude, in three degrees of freedom  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $Z$ , of the wafer base level block 38 can be controlled. Therefore, the position/attitude, in three degrees of freedom  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $Z$ , of the wafer stage WST levitated above the wafer base level block 38 can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity. That is, in the exposure apparatus 10 without a Z-tilt driving mechanism on the wafer stage WST, by the expandable first rods 78<sub>1</sub> to 78<sub>3</sub>, the Z-tilt driving of the wafer W held on the wafer stage WST and the relative position, in three degrees of freedom  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $Z$ , of the wafer with respect to the projection optical system PL, i.e. focus leveling, can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity. In this case, the three first rods 78<sub>1</sub> to 78<sub>3</sub> support the wafer base level block 38 to be independent of the projection optical system PL. Therefore, even when the wafer base level block 38 vibrates due to the reaction to the driving force upon the drive of the wafer stage WST, the vibration hardly transmits to the projection optical system PL. Also, in this case, because the Z-tilt driving mechanism is unnecessary, it is possible to make the wafer stage WST more lightweight, and the driving force and driving reaction upon driving the wafer stage WST on the wafer base level block 38 by the wafer driver 40 comprising a planar motor can be reduced.

Furthermore, in the exposure apparatus 10 of the present embodiment, the exposure main portion controls the position/attitude, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the reticle base level block 12 by the expandable second rods 104<sub>1</sub> to 104<sub>3</sub> composing the second mechanism of the parallel link mechanism 74 controlled by the main controller 50. Therefore, the position/attitude, in three degrees of freedom  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $Z$ , of the reticle stage RST with respect to the projection optical system PL, can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity. In this case, the three second rods 104<sub>1</sub> to 104<sub>3</sub> support the reticle base level block 12 to be independent of the projection optical system PL. Therefore, even when the reticle base level block 12 vibrates due to the reaction to the driving force upon the drive of the reticle stage RST, the vibration hardly transmits to the projection optical system PL. Also, in this case, because the Z-tilt driving mechanism is unnecessary, it is possible to make the reticle stage RST more lightweight, and the driving force and driving reaction upon driving the reticle stage RST on the reticle base level block 12 by the reticle driver 40 comprising a planar motor can be reduced.

Z, of the reticle stage RST levitated above the reticle base level block 12 can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity. That is, in the exposure apparatus 10, without a Z-tilt driving mechanism between the reticle stage RST and the reticle base level block 12, or on the reticle stage RST, the Z-tilt driving of the reticle R held on the reticle stage RST and the relative position, in three degrees of freedom  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , Z, of the reticle with respect to the projection optical system PL, i.e. focus leveling, can be precisely controlled by the expandable second rods 104<sub>1</sub> to 104<sub>3</sub> with desirable operational-characteristics and high rigidity. Therefore, the deterioration of pattern images due to reticle R's defocus caused by an offset load, etc., exerted on the reticle base level block 12 upon the movement of the reticle stage RST can be prevented. In this case, the three second rods 104<sub>1</sub> to 104<sub>3</sub> support the reticle base level block 12 to be independent of the projection optical system PL. Therefore, even when the reticle base level block 12 vibrates due to the reaction to the driving force upon the drive of the reticle stage RST, the vibration hardly transmits to the projection optical system PL. Also, in this case, because the Z-tilt driving mechanism is unnecessary, it is possible to make the reticle stage RST more lightweight, and the driving force and driving reaction upon driving the reticle stage RST on the reticle base level block 12 by the reticle driver 14 comprising a linear motor can be reduced.

Also, in this case, the wafer stage WST, the reticle stage RST, and the projection optical system PL can be easily sealed from one another and easily maintained.

In the present embodiment, a focus sensor 73 and a wafer laser interferometer 24W fixed on the projection optical system PL constitute a position detector to detect the relative position, in six degrees of freedom, of the wafer W and the projection optical system. In the present embodiment, as described above, the driving reactions exerted on the wafer stage WST and the reticle stage RST are prevented from transmitting to the projection optical system PL. Therefore, with the position detector (the focus sensor 73 and the wafer laser interferometer 24W) fixed on the projection optical system PL, it is possible to precisely detect the positional relationship between the projection optical system PL and the wafer W.

Furthermore, a position detector to detect the relative position, in six degrees of freedom, between the reticle stage RST and the projection optical system PL comprises the reticle interferometers 24Ry<sub>1</sub>, 24Ry<sub>2</sub>, 24Rx that illuminate a movable mirror 22R provided on the reticle stage RST with a length measuring beam and detect the position, in three degrees of freedom  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , Z, of the reticle stage RST, and the first to third

interferometers  $30_1$  to  $30_3$  that illuminate a mirror 28 fixed on the reticle base level block 12 with a length measuring beam and detect the position, in three degrees of freedom  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $Z$ , of the reticle base level block 12. In this case, the driving reactions exerted on the wafer stage WST and the reticle stage RST are prevented from transmitting to the projection optical system PL. Therefore, with the position detector (interferometers  $24Ry_1$ ,  $24Ry_2$ ,  $24Rx$ ,  $30_1$  to  $30_3$ ) fixed on the projection optical system PL, it is possible to precisely detect the positional relationship between the projection optical system PL and the reticle stage RST.

Furthermore, in the exposure apparatus 10 of the present embodiment, the first expansion mechanisms  $94_1$  to  $94_3$  and the second expansion mechanisms  $112_1$  to  $112_3$  that are respectively arranged in the first rods  $78_1$  to  $78_3$  and the second rods  $104_1$  to  $104_3$  each comprise the air cylinder 84 and the shaft motor 92, a kind of electromagnetic linear motor, that are arranged mutually in series (or in parallel). Therefore, the main controller 50 can drive the reticle base level block 12 coarsely and by larger distances by controlling the air pressure of the air cylinder 84, and also finely by the shaft motor 92. As a result, the main controller 50 can precisely adjust the positions/attitudes, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the wafer stage and the reticle stage, and then their relative positions with respect to the projection optical system PL in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  in a short time. That is, it is possible to perform a precise focus leveling operation in a short time.

Furthermore, because the first rods  $78_1$  to  $78_3$  and the second rods  $104_1$  to  $104_3$  each comprise the air pad 96 to support the magnetic pole unit 90 as the mover of the shaft motor 92 with respect to the armature unit 88 as its stator in a non-contact manner, in controlling the expansions and contractions of rods by the first and second expansion mechanisms, friction that works as a non-linear component can be avoided. Therefore, the positions/attitudes, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the wafer stage WST and the reticle stage RST can be more precisely controlled respectively via the wafer base level block 38 and the reticle base level block 12.

Moreover, in the exposure apparatus 10 of the present embodiment, the shaft motors 92's are employed as electromagnetic linear motors composing the first expansion mechanisms  $94_1$  to  $94_3$ , the second expansion mechanisms  $112_1$  to  $112_3$ , and the third expansion mechanisms  $126_1$  to  $126_3$ , and in this shaft motor 92, the magnetic pole unit 90 including cylindrical magnets in its mover side is employed. Therefore, magnetic flux (magnetic field) is generated radially and in all directions, and this exposure apparatus

can have the whole magnetic flux in all directions contribute to the generation of Lorentz force (driving force) by an electromagnetic interaction. Also, then, much larger thrust can be generated compared with a usual linear motor, etc., and it is possible to make it smaller than a hydraulic cylinder, etc.

Therefore, the parallel link mechanism 74 where rods each comprise the shaft motor 92 is preferably applied to the exposure apparatus 10 because its miniaturization and lightening, and the improvement of its output are realized at the same time.

Moreover, in the exposure apparatus 10 of the present embodiment, the main controller 50 can statically adjust the relative position, with respect to the projection optical system PL, of at least one of the wafer base level block 38 and the reticle base level block 12 by using the air cylinders 84's composing the first and second expansion mechanisms, and suppress vibrations by using the shaft motors 92's. Therefore, it is possible to adjust at least one of both stages WST, RST with respect to the projection optical system PL via at least one of the wafer base level block 38 and the reticle base level block and to suppress the vibrations of the wafer base level block 38 and the reticle base level block 12, which are caused by the expansions/contractions of the respective rods and the reactions due to the drives of the stages.

Furthermore, with the main controller 50, it is possible to suppress low-frequency vibrations by controlling the air pressures of the air cylinders 84's composing the first and second expansion mechanisms and to insulate high-frequency vibrations by controlling the currents of the shaft motors 92's. Therefore, it is possible to suppress the low-frequency vibrations of the wafer base level block 38 and the reticle base level block 12 due to the reactions to the drives of the stages and to insulate fine vibrations, high-frequency vibrations, from the floor surface.

Furthermore, the exposure apparatus 10 of the present embodiment comprises a reticle room 18 containing the reticle stage RST and partially including the reticle base level block 12, the lens room 32 containing the projection optical system PL, the wafer room 44 containing the wafer stage WST and partially including the wafer base level block 38, and the chamber 46 including expandable bellows-like members 34, 36 respectively linking the reticle room 18 and the lens room 32, and the lens room 32 and the wafer room 44 to isolate the wafer stage WST, the projection optical system PL, and the reticle stage RST from the outside atmosphere. Therefore, by the parallel link mechanism 74, the positions/attitudes, in three degrees of freedom  $Z, \theta_x, \theta_y$ , of the wafer

base level block 38 and the reticle base level block 12 can be adjusted without any troubles. Moreover, because the wafer stage WST, the projection optical system PL, and the reticle stage RST are isolated from the outside atmosphere by the chamber 46, by filling the inside of the chamber 46 with a gas such as nitrogen ( $N_2$ ) or helium (He), it is possible to transfer a fine pattern on the reticle onto the wafer using the ArF excimer laser or a vacuum ultraviolet having a shorter wavelength such as  $F_2$  laser light.

With the exposure apparatus 10 of the present embodiment, with a number of schemes described above, it is possible to improve the lightening and the position controllability of the wafer stage WST and the reticle stage RST, and the exposure apparatus is excellent in the characteristics of suppressing vibrations of its units and isolating vibrations of the floor, has a large number of the degrees of freedom in adjusting the stages that can be separated from each other, and can perform exposure with high resolution with using  $F_2$  laser light or an energy beam of a shorter wavelength in the atmosphere filled with a gas such as helium. Also, it is possible to manufacture highly integrated semiconductor devices, which have finer line widths, with high yield.

Incidentally, the above embodiment described the case where the projection optical system PL is supported by the three third rods 118<sub>1</sub>, 118<sub>2</sub>, 118<sub>3</sub> composing the third mechanism of the parallel link mechanism. This is because the initial adjustment of the projection optical system PL can be easily done by individually controlling the third expansion mechanisms 126<sub>1</sub>, 126<sub>2</sub>, 126<sub>3</sub> to respectively expand/contract the third rods 118<sub>1</sub>, 118<sub>2</sub>, 118<sub>3</sub>. However, because the projection optical system PL does not intrinsically need the change of its position/attitude afterward once its position/attitude is set at a desirable state, a supporting mechanism to support the projection optical system PL to be fixed on the floor surface FD may be provided instead of the third mechanism. Even in this case, because the positions/attitudes, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the wafer stage WST and the reticle stage RST, the positional relationships, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the wafer W and reticle R with respect to the projection optical system PL are adjustable.

Also, in the above embodiment, the third expansion mechanisms 126<sub>1</sub> to 126<sub>3</sub> each have the air cylinder and shaft motor, however, the third expansion mechanisms may each have only the air cylinder. Even in this case, the initial position/attitude of the projection optical system PL can be easily adjusted by adjusting the inside pressure of the air cylinder.

Furthermore, in the above embodiment, bilaterally telecentric optical-system is employed as the projection optical system PL. However, the present invention is not limited to this, not to mention. For example, as the projection optical system, an optical system that is non-telecentric in its object side may be employed. In such an optical system non-telecentric in its object side, although the defocus of the reticle R is one factor of the deviation of transfer position of the pattern image, the deviation of transfer position of the pattern image due to the defocus of the reticle R can be prevented because, in the above embodiment, the position, in three degrees of freedom  $Z, \theta_x, \theta_y$ , of the reticle R is controlled in the above manner.

Incidentally, in the above embodiment, the case where the first base members 76<sub>1</sub>, 76<sub>2</sub>, 76<sub>3</sub>, the second base member 102, and the third base members 114<sub>1</sub>, 114<sub>2</sub>, 114<sub>3</sub> each are individual members was described. However, at least either the first base members or the third members may be one common member, or at least any two out of the first, second and third base members may be one common member. That is, all of the first, second and third base members may be one common member, or the first and second, the second and third, or the first and third base members may be one common member.

Moreover, in the above embodiment, the case was described where a stage is mounted both the wafer base level block 38 and the reticle base level block 12. However, a plurality of stages may be mounted at least either on the wafer base level block 38 or on the reticle base level block 12. For example, in a case where a plurality of wafer stages WST are mounted on the wafer base level block 38, during the exposure operation of one wafer on the wafer stage, change of wafers on another wafer stage, or other operations such as the detection of wafer alignment marks can be simultaneously performed. Therefore, the throughput can be improved compared with a case of having only one wafer stage. Also, for example, in a case where a plurality of reticle stages RST are mounted on the reticle base level block 12, because reticles can be changed by exchanging the positions of those plurality of reticle stages, it is possible to improve the throughput of such multi-exposure using a plurality of reticles as double exposure. Especially, in a case where a plurality of wafer stages WST and reticle stages RST are provided, during multi-exposure of a wafer on one wafer stage, such other operations as wafer change on another wafer stage and the detection of wafer alignment marks can be simultaneously performed. Therefore, such multi exposure using a plurality of reticles as double exposure can be performed with a high throughput.

Moreover, in the above embodiment, the case is described where the wafer base level block 38 and the reticle base level block 12 are respectively supported by the first mechanism and the second mechanism of the parallel link mechanism 74 so as to be controllable in their attitudes. However, the present invention is not limited to this, not to mention. That is, only one of the wafer base level block 38 and the reticle base level block 12 may be supported by the parallel link mechanism. Even in such a case, the position/attitude of a level block, which is supported by the parallel link mechanism and serves as an end-effector of the parallel link mechanism, can be controlled in the same manner as above, and as a result, the above effects are obtained.

Furthermore, the structure of the chamber 46 described in the above embodiment shows only one example, and the present invention is not limited to this, not to mention. That is, in the exposure apparatus of the present invention, any chamber can be used which contains at least one portion of the exposure apparatus's main portion (the reticle stage RST, the projection optical system PL, the wafer stage WST, etc.), which are supported by the parallel link mechanism, to be isolated from the outside atmosphere and allows the change of its attitude. In such a case, a portion of the exposure apparatus's main portion supported by the parallel link mechanism can be made lightweight by using the advantages of the parallel link mechanism, and its attitude can be precisely controlled with desirable operational-characteristics and high rigidity. Also, because the chamber houses at least one portion of the exposure apparatus's main portion to be isolated from the outside atmosphere and allowed to change its attitude, it is possible to transfer a fine pattern on the reticle onto the wafer using the ArF excimer laser or a vacuum ultraviolet having a shorter wavelength such as F<sub>2</sub> laser light by filling the inside of the chamber with a gas such as nitrogen (N<sub>2</sub>) or helium (He).

Furthermore, in the above embodiment, at least a portion of the illumination optical system IOP may be supported by the parallel link mechanism.

## Second Embodiment

A second embodiment of the present invention will be described below with referring to FIGS. 9 to 17. Hereafter, the same or equivalent elements to those of the above first embodiment are represented by the same numbers, and for each of them, a brief or no description will be presented.

Moreover, the first and second embodiments can be employed in combination as the need arises.

FIG. 9 schematically shows an exposure apparatus 130 according to the second embodiment. This exposure apparatus is a scanning-type exposure apparatus based on a step-and-scan method, i.e. a scanning stepper, which transfers a pattern on a reticle onto a plurality of shot areas on a wafer while illuminating the reticle as a mask with an exposure illumination light EL and synchronously moving the reticle and the wafer as a substrate in a predetermined direction (hereafter, set to be Y axis direction perpendicular to the drawing of FIG. 9).

In this exposure apparatus 130, a reticle stage RST as a mask stage and a stage that is triangle in a planar view and serves as a substrate or wafer stage are employed, and its feature is that these stages are controlled in the six degrees of freedom X, Y, Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$  by the parallel link mechanism.

This exposure apparatus 130 comprises an illumination optical system IOP, the reticle stage RST holding the reticle R, the wafer stage WST holding the wafer W, a first parallel link mechanism 132 including the wafer stage WST as an end-effector, a second parallel link mechanism 134 including the reticle stage RST as an end-effector, and the like.

The first parallel link mechanism 132 comprises, as shown in FIG. 10, a first base member 136 that is almost horizontally arranged on the floor surface FD of a clean room and shaped in a regular hexagon; six expandable first rods  $178_1$  to  $178_6$  that each link the first base member 136 and the wafer stage; and first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$  (not shown in FIG. 9; refer to FIG. 17) that are mounted respectively in the first rods  $178_1$  to  $178_6$  and each expand/contract their first rod.

As the first rods  $178_1$  to  $178_6$ , rods each comprising a first axis member and a second axis member that can relatively move in their axis direction in the same manner as the first rod 781 in the above first embodiment are used. Also, the first axis member and second axis member composing each of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  are relatively driven by respective one of first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$  that are the same as the first expansion mechanism 94<sub>1</sub> consisting of the air cylinder and shaft motor. Also, linear encoders  $95_1$  to  $95_6$  (refer to FIG. 17), each of which employs a Hall device to detect the amount of movement of a magnetic pole unit with respect to an armature unit in a shaft motor composing respective one of the first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$ , and air



pads to levitate and support the magnetic ole unit with respect to the armature unit in a non-contact manner are mounted in the first rods 178<sub>1</sub> to 178<sub>6</sub>.

In this case, as is obvious in FIG. 10, the both sides of each of the first rods 178<sub>1</sub> to 178<sub>6</sub> are connected respectively to the first base member 136 and the wafer stage WST via universal joints 138's. Also, the first rods 178<sub>1</sub>, 178<sub>2</sub> are connected around a vertex of the triangle wafer stage WST, and the first base member 136 and the first rods 178<sub>1</sub>, 178<sub>2</sub> form an almost triangle. In the same manner as this, the rods 178<sub>3</sub>, 178<sub>4</sub> and the rods 178<sub>5</sub>, 178<sub>6</sub> are respectively connected around the other vertices of the triangle wafer stage WST, and the first base member 136 and the rods 178<sub>3</sub>, 178<sub>4</sub>, and the first base member 136 and the rods 178<sub>5</sub>, 178<sub>6</sub> each form an almost triangle.

The main controller 50 receives the outputs of the linear encoders 95<sub>1</sub> to 95<sub>6</sub> and controls the first expansion mechanisms 194<sub>1</sub> to 194<sub>6</sub> on the basis of the outputs of the linear encoders 95<sub>1</sub> to 95<sub>6</sub> via the stage controller 52 (refer to FIG. 17).

Referring back to FIG. 9, the projection optical system PL is held on a lens-barrel level block 144 almost horizontally supported via four columns 140 fixed on the floor surface FD and vibration preventing units 142 mounted on the columns 140.

The lens-barrel level block 144 is constituted of, e.g., castings, and an circular opening in a planar view is formed in its center and the projection optical system PL is inserted into the opening from above such that its optical axis coincides with the Z axis direction. On the periphery of the projection optical system PL, a flange FLG, which is integrated with the lens-barrel, is provided. As a material of this flange FLG, a material of low thermal expansion such as invar (an iron-alloy with nickel 36%, manganese 0.25%, and a small amount of carbon and other elements) is used, and this flange FLG composes a kinematic supporting mount supporting the projection optical system PL against the lens-barrel level block 144 at three points via points, surfaces, and V-shape grooves. By using such a kinetic supporting structure, it is easy to attach the projection optical system PL to the lens-barrel level block 144, and there is also an advantage that after the attachment, stress due to vibrations, the temperature changes, attitude changes, and the like of the lens-barrel level block 144 and the projection optical system PL can be reduced most effectively.

In this case, the vibration-preventing unit 142 insulates fine vibrations transmitted from the floor surface to the lens-barrel level block 144 at micro G level. In the present

embodiment, the supporting column 140, the vibration-preventing unit 142, and the lens-barrel level block 144 compose a supporting mechanism to fix and support the projection optical system PL on the floor surface FD where the main portion of the exposure apparatus is arranged.

On the wafer stage WST, the wafer W is held by chucking, and the position of the wafer stage in X-Y plane is detected with resolution of 0.5 to 1 nm by the wafer laser interferometer system consisting of the three interferometers 24Wx<sub>1</sub>, 24Wx<sub>2</sub>, 24Wy shown in FIG. 11.

To be more specific, the interferometer 24Wx<sub>1</sub> is fixed on the lens-barrel level block 144 and hangs from it. Also, a first reflection surface 146a formed on the side surface of the wafer stage WST is vertically illuminated with measurement beams WIX1, WIX3 in a direction forming a predetermined angle  $\theta_1$  (hereafter, +60°) with respect to the Y axis. The measurement beam WIX1 is shined toward the optical axis of the projection optical system PL. A fixed mirror Mw1, on which a reference beam corresponding to this measurement beam WIX1 is incident, is fixed on the side surface of the projection optical system PL (refer to FIG. 9), and the measurement beam WIX3 is shined toward the detection center of an off-axis-alignment detection system ALG. A fixed mirror (not shown) on which a reference beam corresponding to this measurement beam WIX3 is incident is fixed on the side surface of an off-axis-alignment detection system ALG.

Furthermore, the interferometer 24Wx<sub>2</sub> is fixed on the lens-barrel level block 144 and hangs from it. Also, a third reflection surface 146c formed on the side surface of the wafer stage WST is vertically illuminated with measurement beams WIX2, WIX4 in a direction forming a predetermined angle  $\theta_2$  (hereafter, -60°) with respect to the Y axis. The extension line of the optical path of the measurement beam WIX2 crosses the extension line of the exposure light of the measurement beam WIX1. A fixed mirror Mw2, on which a reference beam corresponding to this measurement beam WIX2 is incident, is fixed on the side surface of the projection optical system PL (refer to FIG. 9), and the extension line of the optical path of the measurement beam WIX4 crosses the extension line of the optical path of the measurement beam WIX3 at the center of the off-axis-alignment detection system ALG. A fixed mirror (not shown) on which a reference beam corresponding to this measurement beam WIX4 is incident is fixed on the side surface of an off-axis-alignment detection system ALG.

Moreover, the interferometer 24Wy is fixed on the lens-barrel level block 144 and hangs from it. Also, a second reflection surface 146b formed on the side surface of the wafer stage WST is vertically illuminated with measurement beams WIY1, WIY2 in the Y axis direction. These measurement beams WIY1, WIY2 pass along optical paths bilaterally symmetric with respect to the Y axis between the optical axis of the projection optical system PL and the detection center of the alignment detection system ALG. A fixed mirror (not shown) on which reference beams corresponding to these measurement beams WIY1, WIY2 are incident is fixed on the side surface of the projection optical system.

The measurement values of the above interferometers 24Wx<sub>1</sub>, 24Wx<sub>2</sub>, 24Wy are supplied to the stage controller 52 and then the main controller 50 (refer to FIG. 17). The stage controller 52 calculates the Y position of the wafer stage WST on the basis of the average value of measurement values by the measurement beams WIY1, WIY2 of the interferometer 24Wy, and calculates the  $\theta_z$  rotation (yawing) of the wafer stage WST on the basis of the difference of the above two measurement values and the distance between the measurement axes.

Furthermore, the stage controller 52 calculates the X position of the wafer stage WST on the basis of a measurement value X1 of the interferometer 24Wx<sub>1</sub> and a measurement value X2 of the interferometer 24Wx<sub>2</sub> using the following equation (33).

$$x = \{ (x_1 / |\sin \theta_1|) - (x_2 / |\sin \theta_2|) \} / 2 \quad \dots (33)$$

Because  $|\sin \theta_1| = |\sin \theta_2| = |\sin \theta|$ , the X coordinate position of the wafer stage WST is given by

$$x = (x_1 - x_2) / (2 \sin \theta) \quad \dots (33')$$

Note that because it is important to avoid a so-called Abbe error, upon exposure operation, the stage controller 52 calculates the X position of the wafer stage WST using the above equation (33') on the basis of the measurement values by the measurement beams WIX1, WIX2 shined from the interferometers 24Wx<sub>1</sub>, 24Wx<sub>2</sub> toward the optical axis of the projection optical system PL, and upon alignment, calculates the X position of the wafer stage WST using the above equation (33') on the basis of the measurement values by the measurement beams WIX3, WIX4 shined from the interferometers 24Wx<sub>1</sub>, 24Wx<sub>2</sub> toward the detection center of the alignment detection system ALG.

The positional information, in the degrees of freedom X, Y,  $\theta_z$ , of the wafer stage WST obtained above is reported from the stage controller 52 to the main controller 50 in real time.

Incidentally, in the present embodiment, it is preferable to compose the interferometer having a measurement axis corresponding to each of measurement beams to have a so-called double-path structure so as to prevent fine yawing ( $\theta_z$  rotation) of the wafer stage from affecting the accuracy of exposure, and it is also preferable to compensate for a so-called Abbe error due to the difference in height between the interferometer measurement axis and the surface of the wafer W. Specifically, it is preferable to make other measurement beams incident, for example, below or above the measurement beams WIX1, WIX2 and WIY1 (or WIY2), measure the pitching and rolling of the wafer stage WST, and correct X-Y position information of the wafer stage WST calculated above on the basis of these results.

On the upper surface of the wafer stage WST, as shown in FIG. 11, a reference mark plate FM where reference marks for base line measurement and other reference marks of the alignment detection system are formed is arranged.

Referring back to FIG. 9, the second parallel link mechanism 134 is mounted on a gate-shape frame 152 constituted of a pair of vertical members 148A, 148B and a horizontal plate 150 supported by these vertical members 148A, 148B. The horizontal plate 150 has an opening in a predetermined shape formed in its almost center.

The second parallel link mechanism 134 is structured in the same way as the first parallel link mechanism 132. That is, the second parallel link mechanism 134 comprises a second base member 154 that is arranged on the gate-shape frame 152, has an opening, which is almost equal to the opening of the horizontal plate 150 in shape and size, formed in its center, and is shaped in a regular hexagon; six expandable second rods 179<sub>1</sub> to 179<sub>6</sub> that each link the second base member 154 and the reticle stage RST via their universal joints; and second expansion mechanisms 195<sub>1</sub> to 195<sub>6</sub> (not shown in FIG. 9; refer to FIG. 17) that are mounted respectively in the second rods 179<sub>1</sub> to 179<sub>6</sub> and each expand/contract their second rod. As the second rods 179<sub>1</sub> to 179<sub>6</sub>, rods having the same structure as the first rod 781 are employed, and as the second expansion mechanisms 195<sub>1</sub> to 195<sub>6</sub>, mechanisms having the same structure as the first expansion mechanism 94<sub>1</sub> are employed. Linear encoders 95<sub>7</sub> to 95<sub>12</sub> each of which employs a Hall device to detect the amount of movement of a magnetic pole unit with respect to an armature unit in shaft

motor composing respective one of the first expansion mechanisms 195<sub>1</sub> to 195<sub>6</sub>, and air pads to levitate and support the magnetic pole unit with respect to the armature unit in a non-contact manner are mounted in the second rods 179<sub>1</sub> to 179<sub>6</sub>.

The output of the linear encoders 95<sub>7</sub> to 95<sub>12</sub> are supplied to the main controller 50, and based on the output of the linear encoders 95<sub>7</sub> to 95<sub>12</sub>, the main controller 50 controls the second expansion mechanisms 195<sub>1</sub> to 195<sub>6</sub> via the stage controller 52 (refer to FIG. 17).

The position of the reticle stage RST in the X-Y plane is detected by three interferometers 24Rx<sub>1</sub>, 24Rx<sub>2</sub>, 24Ry (the interferometer 24Ry located at the back of the drawing is not shown in FIG. 9; refer to FIG. 17) fixed on the horizontal plate 150 of the gate-shape frame 152, e.g., with resolution of 0.5 to 1 nm. This position is detected with fixed mirrors Mr<sub>1</sub>, Mr<sub>2</sub>, Mr<sub>3</sub> (the mirror Mr<sub>3</sub> located at the back of the drawing is not shown) as references fixed on the side surface of the lens-barrel of the projection optical system PL. In the same way as the above, the stage controller 52 calculates the position, in the degrees of freedom X, Y,  $\theta_z$ , of the reticle stage RST, and the positional information, in the degrees of freedom X, Y,  $\theta_z$ , of the reticle stage RST is reported from the stage controller 52 to the main controller 50 in real time.

As the alignment detection system ALG, for example, an imaging-type alignment sensor is employed which illuminates alignment marks (or the reference mark plate FM) on the wafer with a broad band light, receives its reflection light, and detects the marks by image processing. The details of such an imaging-type alignment sensor are disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 7-321030, U.S. Pat. No. 5,721,605 corresponding thereto, and the like. The disclosures in the above Japanese Patent Laid-Open and U.S. patent are incorporated herein by this reference as long as the national laws in designated states or elected states, to which this international application is applied, permit.

The measurement values of the alignment detection system ALG are supplied to the main controller 50 (refer to FIG. 17).

Incidentally, as the alignment detection system ALG, an alignment sensor of LIA (Laser Interferometric Alignment) method may be used which illuminates grating marks on a wafer with a laser light in two directions, has their diffracted lights interfere with each other, and detects the positions of the grating marks on the basis of the phase of the interfered light.

Furthermore, a focus sensor 73 (73a, 73b) is arranged on the side surface of the projection optical system PL; the outputs of the focus sensor 73 are supplied to the stage controller 52, and the stage controller 52 calculates the relative position, with respect to the projection optical system PL, of the wafer in the degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , specifically,  $Z$  position (an amount of defocus),  $\theta_x$  rotation (an amount of pitching),  $\theta_y$  rotation (an amount of rolling), of the exposure area on the wafer surface on the basis of the outputs of the focus sensor 73. These results, i.e. focus leveling measurement results, of the exposure area of the wafer are reported to the main controller 50 in real time.

Moreover, a focus sensor 173 (not shown in FIG. 9; Refer to FIG. 17) that is a multi focal position detection system, being the same as the focus sensor 73, and detects  $Z$  position of the pattern surface of the reticle with respect to the projection optical system PL is arranged around the reticle stage RST, and the output of the focus sensor 173 is supplied to the stage controller 52. Then the stage controller 52 calculates the relative position, with respect to the projection optical system PL, of the reticle in the degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , in other words,  $Z$  position (an amount of defocus),  $\theta_x$  rotation (an amount of pitching),  $\theta_y$  rotation (an amount of rolling), of the pattern surface of the reticle on the basis of the outputs of the focus sensor 173. These results, i.e. focus leveling measurement results, of the reticle are reported to the main controller 50 in real time.

Next, the principle of controlling the position/attitude of a driven body in the six degrees of freedom  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$  by a driving system that has six rods like the parallel link mechanism of the present embodiment will be described below.

As such a driving system, consider a driving system, as schematically shown in FIG. 12, comprising a stationary member T, a driven body S, a stator side member RM1, a mover side member RM2 and expandable rods  $RD_i$  ( $i$ =one to six) linking six points  $A_i$  ( $i$ =one to six) of the stationary member T and six points  $B_i$  ( $i$ =one to six) of the driven body S. Hereafter, six points  $A_i$  ( $i$ =one to six) are located in one plane and a stationary coordinate XYZ is so defined that that plane is its X-Y plane and the center of those points is its origin O, and six points  $B_i$  ( $i$ =one to six) are located in one plane and a stationary coordinate UYW is so defined that that plane is its U-V plane and the center of those points is its origin P. Note that the expansion/contraction of each rod  $RD_i$  is generated by its mover side member RM2 moving along the straight line between the point  $A_i$  and the point  $B_i$ .

In the present embodiment, in the driving system of FIG. 12, a control system, the block diagram of which is obtained by extending that in FIG. 5 for the three degrees of freedom into the six degrees of freedom, controls the position/attitude in the six degrees of freedom  $X, Y, Z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$ .

That is, initial values of the velocity-setting portion 304 and the position/attitude-setting portion 306 are set to current values for the position/attitude ( $X, Y, Z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$ ) of the driven body S in the six degrees of freedom  $X, Y, Z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$  and velocities ( $dX/dt, dY/dt, dZ/dt, d\theta_x/dt, d\theta_y/dt, d\theta_z/dt$ ), and initial values of the acceleration-setting portion 302 are set to desirable acceleration values for controlling the position/attitude ( $d^2X/dt^2, d^2Y/dt^2, d^2Z/dt^2, d^2\theta_x/dt^2, d^2\theta_y/dt^2, d^2\theta_z/dt^2$ ). After that, until a new initial setting, only the acceleration-setting portion 302 is updated time after time. Meanwhile, in the velocity-setting portion 304, its setting values are each set to the sum of their initial value and the integration of acceleration values from the acceleration-setting portion 302, and in the position/attitude-setting portion 306, its setting values are each set to the sum of their initial value and the integration of velocity values from the velocity-setting portion 304.

At each time, in the same way as in the three degrees of freedom described previously, a reverse-dynamics analyzing portion 308 analyzes the acceleration-setting values of the acceleration-setting portion 302, the velocity-setting values of the velocity-setting portion 304, and the position/attitude-setting values of the position/attitude-setting portion 306 that are set in this way and input thereto, and based on the results of this analysis, the reverse-dynamics analyzing portion 308 determines instructing values of thrusts for the each rod  $RD_i$ . In the same way as in the three degrees of freedom described previously, the position/attitude of the driven body S in the six degrees of freedom is controlled.

Next, a way where the first parallel link mechanism 132 controls the position/attitude of the wafer stage WST in the six degrees of freedom will be described below with referring to FIG. 13 to FIG. 16.

The main controller 50 can move the wafer stage WST by a distance  $L1$  in a non-scanning direction, i.e. the X-direction, by controlling the expansion/contraction of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  via the first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$  and, e.g., changing a state of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  shown by solid lines in FIG. 13 to another

state shown by virtual lines (two-dot chain lines). In the same way as this, the main controller 50 can move the wafer stage WST in a scanning direction, i.e. the Y-direction, by appropriately controlling the expansions/contractions of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  via the first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$ .

Furthermore, the main controller 50 can move the wafer stage WST by a distance  $L_2$  upwards in Z-axis direction by controlling the expansions/contractions of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  via the first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$  and, e.g., changing a state of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  shown by solid lines in FIG. 14 to another state shown by virtual lines (two-dot chain lines). Note that there is no possibility of the interferometer's measurement-beam getting out of the reflection surface due to the up/down movement of the wafer stage because a stroke of movement in Z-axis direction is, e.g., about  $100\ \mu\text{m}$  in practice.

Moreover, the main controller 50 can rotate the wafer stage WST through a fine angle  $\psi_1$  about the Y-axis passing through the gravity center of the wafer stage by controlling the expansions/contractions of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  via the first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$  and changing a state of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  shown by solid lines in FIG. 15 to another state shown by virtual lines (two-dot chain lines). Therefore,  $\theta_y$  rotation (an amount of rolling) of the wafer stage WST is adjustable. In the same way as this, the main controller 50 can adjust  $\theta_x$  rotation (an amount of pitching) of the wafer stage WST by appropriately controlling the expansions/contractions of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  via the first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$ .

Also, the main controller 50 can rotate the wafer stage WST through a fine angle  $\phi_2$  about the Z-axis passing through the gravity center of the wafer stage by controlling the expansions/contractions of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  via the first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$  and, e.g., changing a state of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  shown by solid lines in FIG. 16 to another state shown by virtual lines. Therefore,  $\theta_z$  rotation (an amount of yawing) of the wafer stage WST is adjustable.

As described above, in the present embodiment, the position/attitude of the wafer stage WST in the six degrees of freedom can be controlled by the first parallel link mechanism 132.



In the same way as the above, the main controller 50 can control the position/attitude of the reticle stage RST in the six degrees of freedom by appropriately controlling the expansions/contractions of the six second rods  $179_1$  to  $179_6$  of the second parallel link mechanism 134 via the first expansion mechanisms  $195_1$  to  $195_6$ .

FIG. 17 schematically shows the structure of the control system of the exposure apparatus 130. This control system in FIG. 17 is composed of the main controller 50 and the stage controller 52 as its main portion each of which is a microcomputer or workstation.

Next, the operation of exposure by the exposure apparatus 130 of the present embodiment will be described below with referring to FIG. 17, etc.

First, in the same manner as the first embodiment, after preparation such as reticle alignment and base line measurement using a reticle microscope, an alignment detection system ALG, a reference mark plate FM, and the like (all are not shown), a fine alignment (EGA (enhanced global alignment) etc.) of a wafer W using the alignment detection system ALG is completed, and then the arrangement coordinates of a plurality of shot areas on the wafer are obtained. During such preparations, the main controller 50 moves the wafer stage WST via the stage controller 52 by using the above driving principle and controlling the first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$  composing the first parallel link mechanism 132.

Next, using the above driving principle, on the basis of the positional information, in the degrees of freedom X, Y,  $\theta_z$ , of the reticle stage RST reported from the stage unit 52 in real time, the main controller 50 controls the expansions/contractions of the second rods  $179_1$  to  $179_6$  via the stage controller 52 by using the second expansion mechanisms  $195_1$  to  $195_6$  composing the second parallel link mechanism 134, moves the reticle stage RST, and positions the reticle R at the scanning start point in the Y direction. In the same way, using the above driving principle, on the basis of the positional information, in the degrees of freedom X, Y,  $\theta_z$ , of the wafer stage WST reported from the stage unit 52 in real time, the main controller 50 controls the expansions/contractions of the first rods  $178_1$  to  $178_6$  via the stage controller 52 by using the first expansion mechanisms  $194_1$  to  $194_6$  composing the first parallel link mechanism 132, moves the wafer stage WST, and positions a corresponding shot area on the wafer W at the scanning start point in the Y direction.

Then using the above driving principle, on the basis of the positional information, in the degrees of freedom  $X$ ,  $Y$ ,  $\theta_z$ , of the reticle stage RST and the wafer stage WST reported from the stage unit 52 in real time, the main controller 50 synchronously moves the reticle stage RST and the wafer stage WST in mutually opposite directions at a velocity ratio corresponding to the projection magnification by controlling the first and second parallel link mechanisms 132, 134, and scanning exposure is performed.

On this scanning exposure, the main controller 50 controls the velocities of the six first rods 178 and the six second rods 179, respectively composing the first parallel link mechanism 132 and the second parallel link mechanism 134, as a consequence of the positional control of each stage based on the above driving principle.

By the above operation, one-scan exposure (one shot exposure) of the reticle R is completed.

Next, according to instructions from the main controller 50, the stage controller 52 steps the wafer stage WST by one row of shot areas in the  $X$  direction, and scans the wafer stage WST and the reticle stage RST each in an opposite direction to their previous direction, and performs scanning exposure onto other shot areas on the wafer.

During the above scanning exposure, on the basis of the measurement results of focus and leveling in the exposure area on the wafer reported from the stage controller 52 in real time, the main controller 50 calculates such  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  of the wafer stage WST as the exposure areas are kept within the range of the focus depth of the projection optical system PL by, calculates acceleration values to realize the position/attitude given by those values, and gives them to the stage unit 52. By this, on the basis of the acceleration values, the stage controller 52 controls the first expansion mechanisms 194<sub>1</sub> to 194<sub>6</sub> composing the first parallel link mechanism 132, controls the expansions/contractions of the first rods 178<sub>1</sub> to 178<sub>6</sub>, and controls the position/attitude in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  of the wafer stage WST and its position/attitude in the degrees of freedom  $X$ ,  $Y$ ,  $\theta_z$  simultaneously. That is, in this way, the adjustment of the relative position, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , between the projection optical system and the wafer W (wafer stage WST), i.e. a focus leveling control, is precisely performed to prevent the deterioration of pattern-transferred images due to defocus as much as possible.

Furthermore, during the above scanning exposure, on the basis of the measurement results of focus and leveling in the exposure area on the wafer reported

from the stage controller 52 in real time, the main controller 50 calculates  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  of the reticle stage RST, calculates acceleration values to realize the position/attitude given by those values, and gives them to the stage unit 52 to keep the position/attitude, in the degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the reticle stage RST at a desirable state. On the basis of the acceleration values, the stage controller 52 controls the second expansion mechanisms 195<sub>1</sub> to 195<sub>6</sub> composing the parallel link mechanism 134, controls the expansions/contractions of the second rods 179<sub>1</sub> to 179<sub>6</sub>, and controls the position/attitude in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  of the reticle stage RST and its position/attitude in the degrees of freedom  $X$ ,  $Y$ ,  $\theta_z$  simultaneously. That is, in this way, the relative position, in three degrees of freedom  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of the reticle stage RST with respect to the projection optical system PL is adjusted. Therefore, the transfer position deviations, image blurs, etc., of pattern-transferred images due to defocus, etc., are effectively suppressed.

As described above, in the exposure apparatus 130 of the second embodiment, the main controller 50 expands and contracts individually the first rods 178<sub>1</sub> to 178<sub>6</sub> by using the first expansion mechanisms 194<sub>1</sub> to 194<sub>6</sub> composing the first parallel link mechanism 132 via the stage controller 52, thereby precisely controlling the position/attitude, in the six degrees of freedom ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$ ), of the wafer stage WST with desirable operational-characteristic and high rigidity. Because the wafer stage WST is driven by the first parallel link mechanism 132, such a driver to drive the wafer stage WST as a linear motor and a stage base (wafer base level block) to support the wafer stage WST are unnecessary. Also, it is unnecessary to provide a Z-tilt driving mechanism, etc., on the wafer stage WST. Therefore, it is possible to make the wafer stage WST small and lightweight.

In the exposure apparatus 130 of the present embodiment, the main controller 50 expands and contracts individually the second rods 179<sub>1</sub> to 179<sub>6</sub> by using the second expansion mechanisms 195<sub>1</sub> to 195<sub>6</sub> composing the second parallel link mechanism 134 via the stage controller 52, thereby precisely controlling the position/attitude, in the six degrees of freedom ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$ ), of the reticle stage RST with desirable operational-characteristics and high rigidity. Because the reticle stage RST is driven by the second parallel link mechanism 134, such a driver to drive the reticle stage WST as a linear motor and a stage base (reticle base level block) to support the reticle stage RST are unnecessary. Also, it is unnecessary to provide a Z-tilt driving mechanism, etc., on the reticle stage RST. Therefore, it is possible to make the reticle stage RST small and lightweight.

Furthermore, in the exposure apparatus 130 of the present embodiment, a supporting mechanism (140, 142, 144) supports the projection optical system PL fixed thereto on the floor surface FD where the exposure apparatus 130 is installed. Therefore, after the projection optical system PL is adjusted to take a desirable position and attitude at the initial adjustment in advance and is fixed in such a state by the supporting mechanism, the main controller 50 controls the position/attitude, in the six degrees of freedom (X, Y, Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ,  $\theta_z$ ), of the wafer stage WST and the reticle stage RST as described above. As its result, the relative position, in six degrees of freedom, of the wafer stage WST (wafer W) with respect to the projection optical system PL and the relative position, in six degrees of freedom, of the reticle stage RST (reticle R) with respect to the projection optical system PL can be controlled. Also, the position/attitude, in six degrees of freedom, of the wafer W are measured with respect to the projection optical system PL, as reference, by the wafer interferometer system (24Wx<sub>1</sub>, 24Wx<sub>2</sub>, 24Wy) and the focus sensor 73 that are fixed on the lens-barrel level block 144 or the projection optical system PL that are independent from the wafer stage WST and the reticle stage RST regarding vibrations. Therefore, it is possible to perform precise measurements.

In the present embodiment, because the first expansion mechanisms 194<sub>1</sub> to 194<sub>6</sub> and the second expansion mechanisms 195<sub>1</sub> to 195<sub>6</sub> each comprise an air cylinder and a shaft motor that are arranged mutually in series, the main controller 50 can drive the wafer stage WST and the reticle stage RST coarsely and by larger distances by controlling the air pressure of the air cylinder and also finely by the shaft motor. As a result, the main controller 50 can precisely adjust the positions/attitudes, in six degrees of freedom, of the wafer stage and the reticle stage, and then their relative positions with respect to the projection optical system PL in a short time.

In the present embodiment, in the same manner as the first embodiment, because the first rods 178<sub>1</sub> to 178<sub>6</sub> and the second rods 179<sub>1</sub> to 179<sub>6</sub> each comprise an air pad to support the mover of the shaft motor with respect to its stator in a non-contact manner, in controlling the expansions/contractions of the first rods 178<sub>1</sub> to 178<sub>6</sub> and the second rods 179<sub>1</sub> to 179<sub>6</sub> by expansion mechanisms, friction that works as a non-linear component can be avoided. Therefore, the positions/attitudes, in six degrees of freedom, of the wafer stage WST and the reticle stage RST can be more precisely controlled. Note that in this case, a magnetic bearing unit may be used instead of the air pad.

In the exposure apparatus 130 of the present embodiment, in the same manner as the first embodiment, much larger thrust can be generated compared with, e.g. usual linear motor, etc., and it is possible to make it smaller than a hydraulic cylinder, etc. Also, the parallel link mechanism 132, 134 of which each rod comprises an air cylinder and a shaft motor are suitable for the exposure apparatus 130 because making the exposure apparatus small and more lightweight and improving its output at the same time.

In the exposure apparatus 130 of the present embodiment, the main controller 50 statically adjusts the relative position, with respect to the projection optical system PL, of at least one of the wafer stage WST and the reticle stage RST by using air cylinders composing the first and second expansion mechanisms and can suppress vibrations by using shaft motors. In this way, it is possible to adjust the relative position, with respect to the projection optical system PL, of at least one of the wafer stage WST and the reticle stage RST and suppress vibrations caused by the expansion/contraction-drive of the rods.

The main controller 50 can suppress vibrations of low frequency by controlling the air pressure of the air cylinders composing the first and second expansion mechanisms and isolate high frequency vibrations by controlling currents to the shaft motors. Therefore, low frequency vibrations in the wafer base level block 38 and the reticle base level block 12 due to a reaction caused by the drive of each stage can be suppressed and fine vibrations from the floor surface, i.e. high frequency vibrations, can be isolated.

Furthermore, the main controller 50 can isolate high frequency vibrations by controlling currents to the shaft motors, thereby being able to isolate fine vibrations from the floor surface, i.e. high frequency vibrations.

In the exposure apparatus 130 of the present embodiment, a number of devices described above make the wafer stage WST and the reticle stage RST lightweight, improve controllability of their positions and its characteristics of suppressing vibrations of the units and isolating vibrations of the floor, and make it possible to manufacture highly integrated semiconductor devices, which have finer line widths, with high yield. Also, the exposure apparatus of the present embodiment can perform exposure with high resolution with using  $F_2$  laser light or an energy beam of shorter wavelength in the atmosphere filled with a gas such as helium.

Incidentally, although the second embodiment described a case where the positions/attitudes, in six degrees of freedom, of the wafer stage WST and the reticle stage RST are controlled by the parallel link mechanisms, the present invention is not limited to this, not to mention. For example, the position/attitude, in six degrees of freedom, of only one of the wafer stage WST and the reticle stage RST may be controlled by the parallel link mechanism while the other is driven in the degrees of freedom X, Y,  $\theta_z$  by using a linear motor, a planar motor, etc., and the position/attitude, in the degrees of freedom Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ , of an object (wafer or reticle) mounted on the stage is controlled by a Z-leveling mechanism provided on the stage.

In another case, for at least one of the wafer stage WST and the reticle stage RST, the positions/attitudes in at least three degrees of freedom, e.g. X, Y,  $\theta_z$ , may be controlled by the parallel link mechanisms comprising three expandable rods. In this case, a driver such as a linear motor, a stage base and the like of at least one of the wafer stage WST and the reticle stage RST are unnecessary. Note that to control the positions/attitudes in six degrees of freedom of the wafer and reticle, it is necessary to provide a mechanism (e.g., a Z-tilt driving mechanism) and the like to drive the other three degrees of freedom (e.g., Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$ ) of the object (wafer or reticle) mounted on the stage.

Incidentally, although the second embodiment described a case where a supporting mechanism (140, 142, 144) supports the projection optical system PL fixed thereto on the floor surface FD, a parallel link mechanism comprising at least three expandable rods may support the projection optical system PL like the first embodiment. In this case, the initial adjustment of the projection optical system PL can be easily performed by controlling the expansion mechanism of each rod. After that, the projection optical system PL can be supported to take a desirable and fixed position/attitude by keeping the length of each rod by its expansion mechanism. Then by controlling the positions/attitudes of both the stages and adjusting the relative positions, in at least three degrees of freedom, of both the stages with respect to the projection optical system PL, the whole adjustment can be satisfactorily performed. In this case, an expansion mechanism comprising an air cylinder like the above expansion mechanisms is preferred. By such an expansion mechanism, the initial position/attitude of the projection optical system PL can be easily adjusted by adjusting the inside pressure of the air cylinder.

Furthermore, although the second embodiment described a case where the base member 136 of the first link mechanism 132 to control the position/attitude of the wafer

stage WST and the base member 154 of the second link mechanism 134 to control the position/attitude of the reticle stage RST are separate, these base members may be one member. In this case, if a link mechanism supports the projection optical system PL, the base member of the link mechanism and at least one of the base member 136 and the base member 154 may be one member.

Note that the parallel link mechanisms of the first and second embodiments are examples and that parallel link mechanisms, which the exposure apparatus of the present invention can use, are not limited to those.

The exposure apparatus of the present embodiments is made by assembling various sub-systems comprising elements in the claims of the present patent application while keeping mechanical precision, electric precision, and optical precision. To ensure the precision, after and before the assembly, adjustment to achieve the optical precision is performed to its optical system; adjustment to achieve the mechanical precision is to its mechanical system, and adjustment to achieve the electric precision is to its electric system. A process of assembling various sub-systems into an exposure apparatus includes mechanical connection among the sub-systems, connection of electric circuits, and connection of tubes of air pressure circuits. Needless to say, before the process of assembling various sub-systems into an exposure apparatus, each sub-system should be assembled. After the process of assembling various sub-systems into an exposure apparatus, comprehensive adjustment is performed to ensure various kinds of precision of the whole exposure apparatus. Note that it is preferable to make an exposure apparatus in a clean room where the temperature, the degree of cleanness, and the like are controlled.

Incidentally, although the present embodiments described a case where the present invention is employed in a scanning exposure apparatus of a step-and-scan method, the present invention is not limited to that. The present invention can be suitably employed in a stationary-exposure-type such as an exposure apparatus (stepper) of a step-and-repeat method and also in an exposure apparatus of a step-and-switch method such as a mirror projection aligner.

Incidentally, although the present embodiments described a case where light, of which the wavelength is in the range of about 120 nm to about 180 nm and belongs to vacuum ultraviolet region, F<sub>2</sub> laser light, Kr<sub>2</sub> laser light, Ar<sub>2</sub> laser, ArF excimer laser light, or the like is used as the exposure illumination light. An ultraviolet emission light

(g-line, i-line, etc.) from ultra-high pressure mercury lamp, KrF excimer laser light, harmonic wave from copper vapor laser or YAG laser, or the like may be used.

Furthermore, as a vacuum ultraviolet light, ArF excimer laser light or F<sub>2</sub> laser light is used. However, a higher harmonic wave may be used which is obtained with wavelength conversion into ultraviolet by using non-linear optical crystal after amplifying a single wavelength laser light, infrared or visible, emitted from a DFB semiconductor laser device or a fiber laser by a fiber amplifier having, for example, erbium (or erbium and ytterbium) doped.

For example, considering that the oscillation wavelength of a single wavelength laser is in the range of 1.51 to 1.59  $\mu\text{m}$ , an eight-time-higher harmonic wave of which the wavelength is in the range of 189 to 199 nm or a ten-time-higher harmonic wave of which the wavelength is in the range of 151 to 159 nm is emitted. Especially, when the oscillation wavelength is in the range of 1.544 to 1.553  $\mu\text{m}$ , an eight-time-higher harmonic wave of which the wavelength is in the range of 193 to 194 nm, that is, almost the same as ArF excimer laser light (ultraviolet light) is obtained, and when the oscillation wavelength is in the range of 1.57 to 1.58  $\mu\text{m}$ , a ten-time-higher harmonic wave of which the wavelength is in the range of 157 to 158 nm, that is, almost the same as F<sub>2</sub> laser light (ultraviolet light) is obtained.

Furthermore, when the oscillation wavelength is in the range of 1.03 to 1.12  $\mu\text{m}$ , a seven-time-higher harmonic wave of which the wavelength is in the range of 147 to 160 nm is emitted, and, especially, when the oscillation wavelength is in the range of 1.099 to 1.106  $\mu\text{m}$ , a seven-time-higher harmonic wave of which the wavelength is in the range of 157 to 158 nm, that is, almost the same as F<sub>2</sub> laser light (ultraviolet light) is obtained. In this case, for example, ytterbium-doped fiber laser can be employed as the single wavelength laser.

Furthermore, the present invention can be applied to an scanning exposure apparatus employing EUV (Extreme Ultraviolet) light, of which the wavelength is in the range of 5 to 50 nm, as an exposure illumination light. In such an exposure apparatus using EUV light, an all-reflection-type optical system and a reflection-type reticle are employed.



Also, the present invention can be applied not only to a light exposure apparatus described above but also to an exposure apparatus using a charged particle beam such as an electron beam.

Moreover, the present invention can be applied not only to micro devices such as semiconductor devices but also to the production of reticles or masks used by a light exposure apparatus, EUV (Extreme Ultraviolet) exposure apparatus, X-ray exposure apparatus and electron beam exposure apparatus, and an exposure apparatus that transfers a circuit pattern onto a glass substrate or silicon wafer. Incidentally, in an exposure apparatus using DUV (far ultraviolet) light or VUV (vacuum ultraviolet) light, a transmission-type reticle is employed in general. Also, as the substrate of the reticle, quartz glass, quartz glass with fluorine doped, fluorite, magnesium fluoride, or quartz crystal is employed. Also, an X-ray exposure apparatus or electron beam exposure apparatus of a proximity method employs a transmission-type mask (stencil-mask, membrane-mask), and as the substrate of the mask, silicon wafer or the like is employed.

Note that the present invention can be applied not only to a wafer exposure apparatus used in the production of semiconductor devices but also to an exposure apparatus that transfers a device pattern onto a glass plate and is used in the production of displays such as liquid crystal display devices, an exposure apparatus that transfers a device pattern onto a ceramic plate and is used in the production of thin magnetic heads, and an exposure apparatus used in the production of pick-up devices (CCD, etc.).

In addition, the parallel link mechanism according to the present invention can be applied not only to an exposure apparatus but also preferably to any apparatus of which the miniaturization and lightening, and the improvement of the output are necessary and which needs to precisely control the position/attitude of a body to be driven.

#### A Device Manufacturing Method

The embodiment of the method of manufacturing a device by using the above exposure apparatus in lithography processes will be described next.

FIG. 18 is a flow chart for the manufacture of a device (a semiconductor chip such as IC or LSI, liquid crystal panel, CCD, thin magnetic head, micro machine, or the like) in this embodiment. As shown in FIG. 18, in step 201 (design step), function/performance design for a device (e.g., circuit design for a semiconductor device) is performed to perform pattern design to implement the function. In step 202 (mask

manufacturing step), a mask on which the designed circuit pattern is formed is manufactured. In step 203 (wafer manufacturing step), a wafer is manufactured by using a silicon material or the like.

In step 204 (wafer processing step), an actual circuit and the like are formed on the wafer by lithography or the like using the mask and wafer prepared in steps 201 to 203, as will be described later. In step 205 (device assembly step), a device is assembled by using the wafer processed in step 204. Step 205 includes processes such as dicing, bonding, and packaging (chip encapsulation).

Finally, in step 206 (inspection step), a test on the operation of the device, durability test, and the like are performed. After these steps, the device is completed and shipped out.

FIG. 19 is a flow chart showing a detailed example of step 204 described above in manufacturing the semiconductor device. Referring to FIG. 19, in step 211 (oxidation step), the surface of the wafer is oxidized. In step 212 (CVD step), an insulating film is formed on the wafer surface. In step 213 (electrode formation step), an electrode is formed on the wafer by vapor deposition. In step 214 (ion implantation step), ions are implanted into the wafer. Steps 211 to 214 described above constitute a pre-process for each step in the wafer process and are selectively executed in accordance with the processing required in each step.

When the above pre-process is completed in each step in the wafer process, a post-process is executed as follows. In this post-process, first of all, in step 215 (resist formation step), the wafer is coated with a photosensitive agent. In step 216, the circuit pattern on the mask is transferred onto the wafer by the above exposure apparatus and method. In step 217 (developing step), the exposed wafer is developed. In step 218 (etching step), an exposed member on a portion other than a portion where the resist is left is removed by etching. In step 219 (resist removing step), the unnecessary resist after the etching is removed.

By repeatedly performing these pre-process and post-process, a multiple-layer circuit pattern is formed on each shot-area of the wafer.

According to the method of manufacturing a device of the present embodiment, because exposure is performed by using an exposure apparatus 10 or 130 of the above

embodiments in the exposure process (step 216) and exposure precision is improved, a highly integrated device is manufactured with high yield.

#### Possibilities for Industrial Application

As has been described above, because the parallel link mechanism according to the present invention can realize the miniaturization and lightening, it is suitably applicable to an exposure apparatus. In addition, the exposure apparatus according to the present invention is suitable to precisely form a fine pattern composed of multi-layers on a substrate such as a wafer by transferring each layer. Furthermore, the method of manufacturing a device according to the present invention is suitable for manufacturing a device having a fine pattern.

### Scope of Patent Claims

1. A parallel link mechanism that controls position/attitude, in directions of at least three degrees of freedom of a movable object, comprising:
  - a base member;
  - at least three expandable rods that include a first axis member and a second axis member so as to be movable relatively in each axis direction and link the base member and the movable object; and
  - an expansion mechanism that is provided at each rod, drives relatively the first axis member and the second axis member in the axis direction and expands/contracts each rod,wherein the expansion mechanism includes a cylindrical mover that is provided integrally at one of the first and the second axis members and a cylindrical stator that is provided integrally at the other of the first and the second axis members and includes a shaft motor that relatively drives the first axis member and the second axis member in the axis direction by driving force caused by electromagnetic interaction between the mover and the stator.
2. The parallel link mechanism according to claim 1, wherein the expansion mechanism further comprises an air cylinder arranged in parallel or in series at the shaft motor.
3. An exposure apparatus that transfers a predetermined pattern on a substrate, comprising:
  - an exposure main portion that performs transfer of the pattern; and
  - a parallel link mechanism that supports attitude-controllably at least one part of the exposure main portion.
4. The exposure apparatus according to claim 3, wherein the exposure main portion comprises a substrate stage that holds the substrate, and
  - the parallel link mechanism controls position/attitude, in at least three degrees of freedom, of the substrate stage.
5. The exposure apparatus according to claim 4, wherein the parallel link mechanism comprises a first base member, at least three expandable first rods that link the first base member and the substrate stage, and a first expansion mechanism that is provided at each of the first rods and expands/contracts each of the first rods.

6. The exposure apparatus according to claim 5, wherein the parallel link mechanism comprises six of the first rods and controls position/attitude, in six degrees of freedom, of the substrate stage by expansion/contraction of each of the first rods.

7. The exposure apparatus according to claim 5, wherein the first expandable mechanism comprises an air cylinder and an electromagnetic linear motor that are arranged in parallel or in series with each other.

8. The exposure apparatus according to claim 5, wherein the exposure main portion further comprises a projection optical system that projects the pattern onto the substrate.

9. The exposure apparatus according to claim 8, wherein the exposure main portion further comprises a mask stage that holds a mask, on which the pattern is formed, and

the parallel link mechanism controls a relative position, in three degrees of freedom, of the mask stage.

10. The exposure apparatus according to claim 9, wherein the parallel link mechanism comprises a second base member, at least three expandable second rods that link the second base member and the mask stage, and a second expansion mechanism that is arranged in the second rods and expands/contracts each of the second rods.

11. The exposure apparatus according to claim 10, wherein the parallel link mechanism comprises six of the second rods and controls position/attitude, in six degrees of freedom, of the mask stage by expansion/contraction of each of the second rods.

12. The exposure apparatus according to claim 10, wherein at least one of the first and the second expansion mechanisms comprises an air cylinder and an electromagnetic linear motor that are arranged in parallel or in series with each other.

13. The exposure apparatus according to claim 12, wherein at least one of the first and the second rods further comprises a bearing unit that supports a mover of the electromagnetic linear motor with respect to its stator in non-contact manner.

14. The exposure apparatus according to claim 13, wherein the bearing unit is a gas static pressure bearing unit.

15. The exposure apparatus according to claim 14, wherein the gas static pressure bearing unit comprises a differential exhaust mechanism.

16. The exposure apparatus according to claim 13, wherein the bearing unit is a magnetic bearing unit.

17. The exposure apparatus according to claim 10, further comprising a controller that statically adjusts a relative position of at least one of both the stages and the projection optical system by use of the air cylinder and suppresses vibrations by use of the electromagnetic linear motor.

18. The exposure apparatus according to claim 10, further comprising a controller that insulates high-frequency vibrations by controlling an electric current supplied to the electromagnetic linear motor.

19. The exposure apparatus according to claim 10, further comprising a supporting mechanism that supports the projection optical system to be in a fixed state on a floor surface where the exposure main portion is mounted.

20. The exposure apparatus according to claim 10, wherein the parallel link mechanism further comprises a third base member, at least three expandable third rods that link the third base member and the projection optical system, and a third expansion mechanism that is provided at each of the third rods and expands/contracts each of the third rods.

21. The exposure apparatus according to claim 20, wherein the third expansion mechanism comprises an air cylinder.

22. The exposure apparatus according to claim 20, wherein at least any arbitrary two of the first, the second, and the third base members are the same member.

23. The exposure apparatus according to claim 3, wherein the exposure main portion comprises a mask stage that holds a mask on which the pattern is formed, and

the parallel link mechanism controls a relative position, in three degrees of freedom, of the mask stage.

24. The exposure apparatus according to claim 23, wherein the parallel link mechanism comprises a base member, at least three expandable rods that link the base member and the mask stage, and an expansion mechanism that is provided at each of the rods and expands/contracts each of the rods.

25. The exposure apparatus according to claim 24, wherein the parallel link mechanism comprises six of the rods and controls position/attitude, in six degrees of freedom, of the mask stage by expansion/contraction of each of the rods.

26. The exposure apparatus according to claim 3, wherein the exposure main portion comprises a substrate stage that holds the substrate and a first stage base that supports the substrate stage so as to be movable, and  
the parallel link mechanism controls a relative position, in three degrees of freedom, of the first stage base.

27. The exposure apparatus according to claim 26, wherein the parallel link mechanism comprises a first base member, at least three expandable first rods that link the first base member and the first stage base, and a first expansion mechanism that is provided at each of the first rods and expands/contracts each of the first rods.

28. The exposure apparatus according to claim 27, wherein the first expandable mechanism comprises an air cylinder and an electromagnetic linear motor that are arranged in parallel or in series with each other.

29. The exposure apparatus according to claim 27, wherein the exposure main portion further comprises a projection optical system that is supported to be independent of the first stage base and projects the pattern onto the substrate.

30. The exposure apparatus according to claim 29, further comprising a position detector that is fixed on the projection optical system and detects positional relationship, in six degrees of freedom, between the substrate and the projection optical system.

31. The exposure apparatus according to claim 29, further comprising a supporting mechanism that supports the projection optical system to be in a fixed state on a floor surface where the exposure main portion is mounted.

32. The exposure apparatus according to claim 29, wherein the exposure main portion further comprises a mask stage that holds a mask, on which the pattern is formed, and a second stage base that supports the mask stage so as to be movable, and the parallel link mechanism controls position/attitude, in three degrees of freedom, of the second stage base.

33. The exposure apparatus according to claim 31, further comprising a position detector that is fixed on the projection optical system and detects positional relationship, in six degrees of freedom, between the mask stage and the projection optical system.

34. The exposure apparatus according to claim 33, wherein the position detector is an interferometer,

a mirror for detecting a relative position of X, Y,  $\theta_z$  directions to which a length-measuring beam is irradiated from the interferometer, is provided at the mask stage, and a mirror for detecting a relative position in Z,  $\theta_x$ ,  $\theta_y$  directions to which a length-measuring beam is irradiated from the interferometer is fixed at the second stage base.

35. The exposure apparatus according to claim 32, wherein the parallel link mechanism comprises a second base member, at least three expandable second rods that link the second base member and the second stage base, and second expansion mechanisms that are arranged in the respective second rods and expand/contract the respective second rods.

36. The exposure apparatus according to claim 35, wherein the parallel link mechanism further comprises a third base member, at least three expandable third rods that link the third base member and the projection optical system, and a third expansion mechanism that is provided at each of the third rods and expands/contracts each of the third rods.

37. The exposure apparatus according to claim 36, wherein the third expansion mechanism comprises an air cylinder.



38. The exposure apparatus according to claim 36, wherein at least any arbitrary two of the first, the second, and the third base members are the same member.

39. The exposure apparatus according to claim 35, wherein at least one of the first and the second expandable mechanisms comprises an air cylinder and an electromagnetic linear motor that are arranged in parallel or in series with each other.

40. The exposure apparatus according to claim 39, wherein at least one of the first and the second rods further comprises a bearing unit that supports a mover of the electromagnetic linear motor with respect to its stator in non-contact manner.

41. The exposure apparatus according to claim 40, wherein the bearing unit is a gas static pressure bearing unit.

42. The exposure apparatus according to claim 41, wherein the gas static pressure bearing unit comprises a differential exhaust mechanism.

43. The exposure apparatus according to claim 40, wherein the bearing unit is a magnetic bearing unit.

44. The exposure apparatus according to claim 39, further comprising a controller that statically adjusts a relative position of at least one of the first and the second stage bases and the projection optical system by use of the air cylinder and suppresses vibrations by use of the electromagnetic linear motor.

45. The exposure apparatus according to claim 39, further comprising a controller that suppresses low-frequency vibrations by controlling an air-pressure of the air cylinder and insulates high-frequency vibrations by controlling an electric current of the electromagnetic linear motor.

46. The exposure apparatus according to claim 32, wherein a plurality of the stages are mounted on at least one of the first and the second stage bases.

47. The exposure apparatus according to claim 3, wherein the exposure main portion comprises a mask stage that holds a mask on which the pattern is formed, a stage base that supports the mask stage so as to be movable, and

the parallel link mechanism controls position/attitude, in three degrees of freedom, of the stage base.

48. The exposure apparatus according to claim 47, wherein the parallel link mechanism comprises a base member, at least three expandable rods that link the base member and the stage base, and an expansion mechanism that is provided at each of the rods and expand/contract the respective rods.

49. The exposure apparatus according to claim 3, further comprising a chamber that houses at least one part of the exposure main portion to be sealed from the outside atmosphere and allows its attitude to be changed.

50. The exposure apparatus according to claim 49, further comprising a vacuum exhaust system and a gas supply system so as to purge non-active gas in the chamber.

51. The exposure apparatus according to claim 32, further comprising a chamber that includes a first room that contains the mask stage and has the second stage base as a part, a second room that contains the projection optical system, a third room that contains the substrate stage and has the first stage base as a part, and expandable bellows-members, which respectively link the first room and the second room, and the second room and the third room, and separates the substrate stage, the optical projection system, and the mask stage from the outside atmosphere.

52. The exposure apparatus according to claim 51, further comprising a vacuum exhaust system and a gas supply system so as to purge non-active gas in the chamber.

53. A method of manufacturing an exposure apparatus that transfers a pattern of a mask onto a substrate, comprising the steps of:

providing a mask stage that holds the mask;

providing a projection optical system that projects a pattern of the mask onto the substrate;

providing a substrate stage that holds the substrate;

providing a parallel link mechanism that supports at least one of the mask stage and the substrate stage so as to control a relative position in at least directions of three degrees of freedom between at least one of the mask stage and the substrate stage and the projection optical system.

54. A method of manufacturing an exposure apparatus that transfers a pattern of a mask onto a substrate, comprising the steps of:

- providing a mask stage that holds the mask;
- providing a projection optical system that projects a pattern of the mask onto the substrate;
- providing a substrate stage that holds the substrate;
- providing a first stage base that supports so as to make the mask stage movable;
- providing a second stage base that supports so as to make the substrate stage movable; and
- providing a parallel link mechanism that supports at least one of the first and the second stage bases so as to control a relative position in at least directions of three degrees of freedom between at least one of the first and the second stage bases and the projection optical system.

55. A method of manufacturing a device comprising a lithography process, wherein the lithography process performs exposure by use of an exposure apparatus according to any one of claims 3 to 52.

## FIG. 5

302: ACCELERATION-SETTING VALUES  
304: VELOCITY-SETTING VALUES  
306: POSITION/ATTITUDE-SETTING VALUES  
308: REVERSE-DYNAMICS  
INSTRUCTING VALUES OF THRUSTS  
ROD POSITION  
310: VOLTAGE CONVERSION PORTION  
318: CONTROLLER  
324: CONTROLLER  
MEASURED POSITION/ATTITUDE VALUES  
312: ELECTRICAL TIME CONSTANT  
MEASURED ROD POSITION VALUES  
320: STAGE SYSTEM SENSOR  
314: ELECTROMAGNETIC ACTUATOR  
326: ROD SYSTEM SENSOR  
316: DRIVEN BODY (PM TYPE STAGE)

## FIG. 8

24RY<sub>1</sub>: INTERFEROMETER  
24RY<sub>2</sub>: INTERFEROMETER  
24RX: INTERFEROMETER  
30<sub>1</sub>: FIRST INTERFEROMETER  
30<sub>2</sub>: SECOND INTERFEROMETER  
30<sub>3</sub>: THIRD INTERFEROMETER  
24WY<sub>1</sub>: INTERFEROMETER  
24WY<sub>2</sub>: INTERFEROMETER  
24WX: INTERFEROMETER  
73: FOCUS SENSOR  
52: STAGE CONTROLLER  
14: RETICLE DRIVER  
40: WAFER DRIVER  
94<sub>1</sub>: FIRST EXPANSION MECHANISM  
94<sub>2</sub>: FIRST EXPANSION MECHANISM  
94<sub>3</sub>: FIRST EXPANSION MECHANISM  
112<sub>1</sub>: SECOND EXPANSION MECHANISM  
112<sub>2</sub>: SECOND EXPANSION MECHANISM

112<sub>3</sub>: SECOND EXPANSION MECHANISM  
126<sub>1</sub>: THIRD EXPANSION MECHANISM  
126<sub>2</sub>: THIRD EXPANSION MECHANISM  
126<sub>3</sub>: THIRD EXPANSION MECHANISM  
95<sub>1</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>2</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>3</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>4</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>5</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>6</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>7</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>8</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>9</sub>: LINEAR ENCODER  
50: MAIN CONTROLLER  
58: CHANNEL SWITCHING UNIT  
68: TURBO MOLECULAR PUMP  
66: DRY PUMP  
54: GAS SUPPLIER

FIG. 17

24RX<sub>1</sub>: INTERFEROMETER  
24RX<sub>2</sub>: INTERFEROMETER  
24RY: INTERFEROMETER  
24WX<sub>1</sub>: INTERFEROMETER  
24WX<sub>2</sub>: INTERFEROMETER  
24WY: INTERFEROMETER  
73: FOCUS SENSOR  
173: FOCUS SENSOR  
52: STAGE CONTROLLER  
194<sub>1</sub>: FIRST EXPANSION MECHANISM  
194<sub>2</sub>: FIRST EXPANSION MECHANISM  
194<sub>3</sub>: FIRST EXPANSION MECHANISM  
194<sub>4</sub>: FIRST EXPANSION MECHANISM  
194<sub>5</sub>: FIRST EXPANSION MECHANISM  
194<sub>6</sub>: FIRST EXPANSION MECHANISM  
195<sub>1</sub>: SECOND EXPANSION MECHANISM  
195<sub>2</sub>: SECOND EXPANSION MECHANISM

195<sub>3</sub>: SECOND EXPANSION MECHANISM  
195<sub>4</sub>: SECOND EXPANSION MECHANISM  
195<sub>5</sub>: SECOND EXPANSION MECHANISM  
195<sub>6</sub>: SECOND EXPANSION MECHANISM  
ALG: ALIGNMENT DETECTION SYSTEM  
95<sub>1</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>2</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>3</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>4</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>5</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>6</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>7</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>8</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>9</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>10</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>11</sub>: LINEAR ENCODER  
95<sub>12</sub>: LINEAR ENCODER  
50: MAIN CONTROLLER

## FIG. 18

201: DESIGN (FUNCTION, PERFORMANCE, PATTERN)  
202: MASK MANUFACTURING  
203: WAFER MANUFACTURING  
204: WAFER PROCESSING  
205: DEVICE ASSEMBLY  
206: INSPECTION  
(SHIPPED OUT)

## FIG. 19

214: ION IMPLANTATION  
211: OXIDATION  
213: ELECTRODE FORMATION  
PRE-PROCESS  
215: RESIST FORMATION  
216: EXPOSURE  
217: DEVELOPING  
218: ETCHING



WO 01/22480

88

PCT/JP99/05102

219: RESIST REMOVING  
POST-PROCESS

"f